



Universidad  
Carlos III de Madrid

Departamento de Ingeniería Térmica y Fluidos

PROYECTO FIN DE CARRERA

# CLIMATIZACIÓN DE UNA VIVIENDA CON ENERGÍA GEOTÉRMICA

Autor: Ignacio Isaías González Elosua

Tutor: Ciro Sebastián Vereda Ortiz

Leganés, noviembre de 2013



Título: Climatización de una vivienda con energía geotérmica  
Autor: Ignacio Isaías González Elosua  
Director: Ciro Sebastián Vereda Ortiz

## EL TRIBUNAL

Presidente: Alberto Sánchez González

Vocal: Leandro José Vargas Melendez

Secretario: Néstor García Hernando

Realizado el acto de defensa y lectura del Proyecto Fin de Carrera el día 28 de noviembre de 2013 en Leganés, en la Escuela Politécnica Superior de la Universidad Carlos III de Madrid, acuerda otorgarle la CALIFICACIÓN de

VOCAL

SECRETARIO

PRESIDENTE



## **RESUMEN**

El presente proyecto consiste en el estudio, diseño y definición de una instalación de aprovechamiento de energía geotérmica para la climatización a lo largo de todo el año de una vivienda unifamiliar en la localidad de Fornells en el término municipal de Es Mercadal, en Menorca.

Para ello, se ha calculado la demanda energética térmica requerida por la vivienda debido a su forma arquitectónica, materiales empleados y necesidades interiores, siguiendo criterios legales, funcionales y constructivos. Se ha tomado como referencia el Código Técnico de la Edificación (CTE) y el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE).

Para el correcto cálculo de la demanda energética se ha tenido en cuenta los datos referentes a las condiciones climáticas específicas de la ubicación de la edificación obtenidos mediante la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET).

Tras la realización de los cálculos y obtenidos los resultados necesarios se ha procedido a la elección de la bomba de calor geotérmica, seleccionada en base a criterios energéticos de rendimiento y calidad del fabricante, y al dimensionado de la captación geotérmica para el intercambio de calor, un sistema vertical formado por 3 sondas de 85 m de profundidad.

Para llevar a cabo la correcta climatización de la vivienda se ha realizado un estudio de las opciones disponibles en el mercado actual para los circuitos de calefacción y refrigeración. Se ha seleccionado un sistema de suelo radiante para calefactar en invierno y un circuito compuesto por varios fan-coils para refrigerar en la época de verano. Ambos circuitos son regulables por habitaciones para poder obtener condiciones de confort independientemente del resto de estancias.

Debido a las características de este proyecto, basado en el aprovechamiento de una energía limpia y renovable se incluye un estudio de impacto ambiental, muy positivo, para determinar la cantidad de kg de CO<sub>2</sub> que se evita expulsar a la atmósfera comparado con otras fuentes de energía empleadas actualmente para la climatización de viviendas: electricidad, gasoil y gas natural.

Al tratarse también de una energía que se extrae ‘gratuitamente’ de la tierra, se ha realizado un estudio económico para determinar la viabilidad de la instalación propuesta y el periodo de amortización respecto a las tres fuentes de energía antes nombradas.

# MEMORIA

---

## Índice

|                                                   |           |
|---------------------------------------------------|-----------|
| <b>1 Motivación del proyecto .....</b>            | <b>11</b> |
| <b>2 Objetivos .....</b>                          | <b>13</b> |
| <b>3 Energía Geotérmica .....</b>                 | <b>14</b> |
| <b>4 Legislación aplicable .....</b>              | <b>18</b> |
| <b>5 Localización geográfica .....</b>            | <b>19</b> |
| <b>6 Descripción de la edificación .....</b>      | <b>20</b> |
| <b>7 Necesidades térmicas .....</b>               | <b>21</b> |
| <b>8 La bomba de calor.....</b>                   | <b>22</b> |
| 8.1 La bomba de calor geotérmica .....            | 24        |
| 8.2 Elección de la bomba de calor .....           | 25        |
| <b>9 Captación geotérmica .....</b>               | <b>28</b> |
| 9.1 Tipos de captación .....                      | 28        |
| 9.2 Tipo de captación seleccionado .....          | 31        |
| 9.3 Cálculo de parámetros para la captación ..... | 32        |
| <b>10 Calefacción.....</b>                        | <b>34</b> |
| 10.1 Tipos de calefacción.....                    | 34        |
| 10.2 Tipo de calefacción seleccionado.....        | 36        |
| <b>11 Refrigeración .....</b>                     | <b>40</b> |
| 11.1 Tipos de refrigeración .....                 | 40        |
| 11.2 Tipo de refrigeración elegido .....          | 41        |
| <b>12 Valor total de la ejecución .....</b>       | <b>43</b> |

## CÁLCULOS

|                                                   |           |
|---------------------------------------------------|-----------|
| <b>13 Zonificación climática.....</b>             | <b>48</b> |
| <b>14 Condiciones climáticas exteriores .....</b> | <b>49</b> |
| <b>15 Condiciones interiores de diseño.....</b>   | <b>52</b> |
| <b>16 Coeficientes de orientación.....</b>        | <b>53</b> |
| <b>17 Coeficiente de intermitencia.....</b>       | <b>54</b> |



|                                                                                                                               |            |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>18 Clasificación de los espacios .....</b>                                                                                 | <b>55</b>  |
| <b>19 Envoltente térmica.....</b>                                                                                             | <b>56</b>  |
| <b>20 Opción simplificada.....</b>                                                                                            | <b>61</b>  |
| <b>21 Cálculo de los parámetros característicos de la envoltente térmica.....</b>                                             | <b>63</b>  |
| 21.1 Transmitancias térmicas .....                                                                                            | 63         |
| 21.1.1 Cerramientos en contacto con el aire exterior .....                                                                    | 65         |
| 21.1.1.1 Fachadas .....                                                                                                       | 65         |
| 21.1.1.2 Cubierta .....                                                                                                       | 66         |
| 21.1.2 Huecos .....                                                                                                           | 67         |
| 21.1.3 Cerramientos en contacto con el terreno .....                                                                          | 70         |
| 21.1.4 Puentes térmicos.....                                                                                                  | 71         |
| 21.1.5 Comprobación con los valores máximos permitidos .....                                                                  | 73         |
| 21.2 Factor solar modificado .....                                                                                            | 74         |
| <b>22 Comprobación de la limitación de la demanda energética mediante los parámetros<br/>    característicos medios .....</b> | <b>78</b>  |
| <b>23 Pérdidas por renovación de aire o infiltración de aire exterior .....</b>                                               | <b>82</b>  |
| <b>24 Cargas térmicas máximas .....</b>                                                                                       | <b>84</b>  |
| <b>25 Fichas justificativas de la opción simplificada del CTE.....</b>                                                        | <b>92</b>  |
| <b>26 Suelo radiante .....</b>                                                                                                | <b>95</b>  |
| 26.1 Módulo de distribución.....                                                                                              | 96         |
| 26.1.1 Determinación del módulo necesario .....                                                                               | 96         |
| 26.1.2 Cálculo de la potencia cedida por m <sup>2</sup> .....                                                                 | 98         |
| 26.2 Circuitos.....                                                                                                           | 100        |
| <b>27 Planos.....</b>                                                                                                         | <b>101</b> |

## **PRESUPUESTO**

|                                                     |            |
|-----------------------------------------------------|------------|
| <b>28 Componentes.....</b>                          | <b>105</b> |
| <b>29 Precios unitarios y sumas parciales .....</b> | <b>107</b> |
| <b>30 Instalación y mano de obra.....</b>           | <b>109</b> |
| <b>31 Subvenciones .....</b>                        | <b>109</b> |

|                                     |            |
|-------------------------------------|------------|
| <b>32 Presupuesto general .....</b> | <b>110</b> |
|-------------------------------------|------------|

## **ESTUDIO COMPARATIVO**

|                                            |            |
|--------------------------------------------|------------|
| <b>33 Geotermia vs. Electricidad .....</b> | <b>115</b> |
| <b>34 Geotermia vs. Gasoil .....</b>       | <b>116</b> |
| <b>35 Geotermia vs. Gas Natural .....</b>  | <b>118</b> |
| <b>36 Impacto Ambiental .....</b>          | <b>120</b> |

## **BIBLIOGRAFÍA**

|                                  |            |
|----------------------------------|------------|
| <b>37 Bibliografía .....</b>     | <b>125</b> |
| <b>38 Webs de consulta .....</b> | <b>126</b> |

## Índice de tablas

|                                                                                                                                                                 |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabla 1. MW geotérmicos por países europeos. (EurObserver'ER 2007) .....                                                                                        | 17 |
| Tabla 2. Capacidades térmicas por m de sonda .....                                                                                                              | 32 |
| Tabla 3. Datos climatológicos históricos de Mahón (AEMET) .....                                                                                                 | 50 |
| Tabla 4. Valores máximos/mínimos para Mahón (AEMET) .....                                                                                                       | 51 |
| Tabla 5. Orientación de las fachadas (Figura 3.1 del CTE).....                                                                                                  | 56 |
| Tabla 6. Valores límite para la zona B3 (Extraído de la tabla 2.2 del CTE) .....                                                                                | 61 |
| Tabla 7. Porcentaje de huecos en fachadas.....                                                                                                                  | 62 |
| Tabla 8. Resistencias térmicas superficiales de cerramientos en contacto con el aire exterior<br>[m <sup>2</sup> K/W] (Tabla E.1 del CTE).....                  | 64 |
| Tabla 9. Transmitancia térmica de muros de fachada .....                                                                                                        | 66 |
| Tabla 10. Transmitancia térmica de cubierta.....                                                                                                                | 67 |
| Tabla 11. Transmitancias térmicas en huecos .....                                                                                                               | 69 |
| Tabla 12. Transmitancia térmica de muros en contacto con el terreno .....                                                                                       | 70 |
| Tabla 13. Transmitancia térmica de muros enterrados (Tabla E.5 del CTE) .....                                                                                   | 70 |
| Tabla 14. Transmitancia térmica de pilares de fachada.....                                                                                                      | 72 |
| Tabla 15. Transmitancias térmicas en puentes térmicos.....                                                                                                      | 73 |
| Tabla 16. Transmitancia térmica máxima de cerramientos y particiones interiores de la envolvente<br>térmica U en W/m <sup>2</sup> K. (Tabla 2.1 del CTE). ..... | 74 |
| Tabla 17. Factor solar modificado planta baja.....                                                                                                              | 76 |
| Tabla 18. Factor solar modificado planta alta.....                                                                                                              | 77 |
| Tabla 19. Valores límite de los parámetros característicos medios para la zona B3 (Tabla 2.2 del<br>CTE) .....                                                  | 78 |
| Tabla 20. Parámetros característicos medios .....                                                                                                               | 81 |
| Tabla 21. Pérdidas por renovación de aire.....                                                                                                                  | 83 |
| Tabla 22. Cargas térmicas máximas invierno/verano habitación por habitación .....                                                                               | 90 |
| Tabla 23. Cargas máximas de calefacción/refrigeración que consume la vivienda.....                                                                              | 91 |

|                                                                      |     |
|----------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabla 24. Potencia por superficie a aportar en cada habitación ..... | 99  |
| Tabla 25. Módulos por habitación.....                                | 100 |
| Tabla 26. Amortización respecto a método eléctrico .....             | 115 |
| Tabla 27. Amortización respecto a método con gasoil.....             | 117 |
| Tabla 28. Amortización respecto a método con gas natural.....        | 118 |

## Índice de ecuaciones

|                                                                                                            |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Ecuación 1. Potencia eléctrica necesaria .....                                                             | 27  |
| Ecuación 2. Potencia del evaporador.....                                                                   | 33  |
| Ecuación 3. Profundidad de la sonda.....                                                                   | 33  |
| Ecuación 4. Transmitancia térmica.....                                                                     | 63  |
| Ecuación 5. Resistencia térmica total .....                                                                | 64  |
| Ecuación 6. Resistencia térmica de una capa .....                                                          | 65  |
| Ecuación 7. Fórmula de la transmitancia térmica en huecos .....                                            | 67  |
| Ecuación 8. Factor solar modificado .....                                                                  | 75  |
| Ecuación 9. Parámetro característico medio de la transmitancia para muros de fachada.....                  | 79  |
| Ecuación 10. Parámetro característico medio de la transmitancia para muros en contacto con el terreno..... | 79  |
| Ecuación 11. Parámetro característico medio de la transmitancia para huecos.....                           | 79  |
| Ecuación 12. Parámetro característico medio del factor solar modificado para huecos.....                   | 80  |
| Ecuación 13. Parámetro característico medio de la transmitancia para cubierta.....                         | 80  |
| Ecuación 14. Pérdidas por renovación de aire.....                                                          | 82  |
| Ecuación 15. Potencia perdida en muro/cubierta.....                                                        | 84  |
| Ecuación 16. Potencia perdida en muro/cubierta con coeficientes.....                                       | 84  |
| Ecuación 17. Potencia térmica cedida .....                                                                 | 96  |
| Ecuación 18. Potencia por circuito .....                                                                   | 98  |
| Ecuación 19. Emisiones de CO <sub>2</sub> de la geotermia.....                                             | 121 |

## Índice de ilustraciones

|                                                                                                                                                              |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Ilustración 1. Central Eléctrica mediante Geotermia (Alternative Energy Today, <a href="http://www.alt-energystocks.com">www.alt-energystocks.com</a> )..... | 14 |
| Ilustración 2. Instalaciones geotérmicas en Europa en 2006 (EurObserver'ER, 2007) .....                                                                      | 16 |
| Ilustración 3. Situación de Fornells en Menorca (Fuente: Google Earth) .....                                                                                 | 19 |
| Ilustración 4. Situación de la parcela 34 (Fuente: Google Earth).....                                                                                        | 20 |
| Ilustración 5. Esquema de la Máquina de Carnot en sus dos formas .....                                                                                       | 22 |
| Ilustración 6. Bomba de Calor Geotérmica (Polytherm Española S.A.) .....                                                                                     | 25 |
| Ilustración 7. Carno HCS-PK-232K de HAUTEC.....                                                                                                              | 26 |
| Ilustración 8. Captación Horizontal (Chiller Solutions).....                                                                                                 | 29 |
| Ilustración 9. Captación Vertical (Chiller Solutions) .....                                                                                                  | 29 |
| Ilustración 10. Captación de Aguas Freáticas (Chiller Solutions).....                                                                                        | 30 |
| Ilustración 11. Captación Sumergida (Chiller Solutions).....                                                                                                 | 31 |
| Ilustración 12. Comparación suelo radiante/radiadores (Polytherm Española S.A.) .....                                                                        | 35 |
| Ilustración 13. Distribución de calor de los distintos sistemas de calefacción (Polytherm Española S.A.) .....                                               | 36 |
| Ilustración 14. Sección de composición del suelo radiante (Geotec DNT, S.L.) .....                                                                           | 38 |
| Ilustración 15. Suelo radiante con tubos en espiral y serpentín (Geotec DNT, S.L.).....                                                                      | 38 |
| Ilustración 16. Distribución en espiral y serpentín y doble serpentín (Geotec DNT, S.L.).....                                                                | 39 |
| Ilustración 17. Modelo ACY25UIF de Fujitsu.....                                                                                                              | 42 |
| Ilustración 18. Modelo AUY25UIF de Fujitsu.....                                                                                                              | 42 |
| Ilustración 19. Vista en planta con los cortes a-a y b-b.....                                                                                                | 57 |
| Ilustración 20. Corte a-a .....                                                                                                                              | 57 |
| Ilustración 21. Corte b-b.....                                                                                                                               | 58 |
| Ilustración 22. Planta de la vivienda, clasificación de las fachadas .....                                                                                   | 59 |
| Ilustración 23. Planta baja. Orientación de las fachadas .....                                                                                               | 60 |
| Ilustración 24. Planta alta. Orientación de las fachadas .....                                                                                               | 60 |

---

Ilustración 25. Potencia suministrada por los distintos módulos. A=30/30, B=30/20, C=30/6 (PROGENSA) ..... 97

Ilustración 26. Kg CO2 por tecnologías ..... 122





El objeto del presente proyecto es la climatización y la producción de ACS en una vivienda unifamiliar empleando para ello la energía geotérmica y utilizando una bomba de calor para extraer dicha energía. En la sección 3 será explicada esta fuente de energía renovable y posteriormente en la sección 8 el concepto de bomba de calor y su utilización en la actualidad. A lo largo de todo el documento se explicarán las ventajas e inconvenientes de la implantación de este método y se estudiará la viabilidad y rentabilidad del proyecto.

## **1 Motivación del proyecto**

En una época en que el cambio climático es ya una realidad y está tan de actualidad es el momento de invertir y de desarrollar sistemas que proporcionen la comodidad y confort habituales pero de una forma respetuosa con el medio ambiente y a poder ser que conlleven un ahorro económico.

El presente proyecto pretende precisamente aprovechar una fuente de energía renovable e inagotable como es la energía geotérmica que se encuentra en expansión y desarrollar un sistema que permita la climatización tanto en invierno como en verano estudiando su viabilidad económica en comparación con los métodos de climatización actuales.

Mediante la implantación del sistema que se desarrolla en este documento se logra disminuir las emisiones de CO<sub>2</sub> que se producirían al usar sistemas de calefacción con gas o gasoil. La única energía que hay que aportar a este sistema es la energía eléctrica necesaria para hacer funcionar su sistema de bombas y compresores, en torno a 1 kW

para obtener aproximadamente 4 kW de energía térmica, por lo que el ahorro energético del sistema respecto al eléctrico sería de aproximadamente el 75% (un porcentaje de energía que es suministrada por la tierra de forma gratuita).

La energía geotérmica es una fuente inagotable y renovable y se puede tener la certeza de que siempre va a estar a nuestra disposición proporcionando el calor/frío necesario para nuestras viviendas; con un único sistema se cubren las necesidades caloríficas y frigoríficas de la vivienda mientras que con los métodos habituales es necesario tener un sistemas de calefacción y otro de refrigeración con los gastos que esto conlleva y el doble de posibilidades de sufrir un fallo técnico.

Desde el punto de vista económico, el sistema de climatización geotérmica se ha declarado rentable a medio plazo en comparación con los métodos actuales; entre 10 y 14 años se amortizaría y comenzaría a producir ahorro. Pese a que su instalación inicial es más costosa que un sistema tradicional de combustión, con el ahorro que se va generando año a año se cubre esa inversión y se genera un ahorro considerable.

El sistema de climatización con energía geotérmica se lleva implantando en el resto de Europa desde hace varios años con resultados inmejorables consiguiendo una ventaja sobre nuestro país, por ello se debe intentar no quedarse atrás en algo que es beneficioso para la economía particular y el medio ambiente global.

## 2 Objetivos

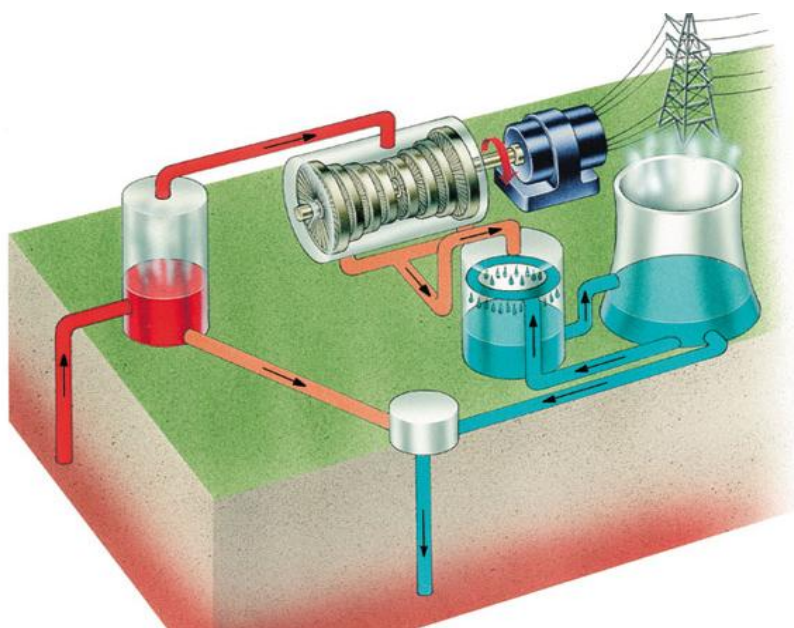
Los objetivos de este proyecto son:

- Diseñar, calcular y dimensionar las necesidades térmicas caloríficas y frigoríficas de una vivienda unifamiliar en Fornells, Ayuntamiento de Es Mercadal, Menorca.
- Calcular las máximas cargas térmicas que se podrán dar en cada uno de los habitáculos, a partir de estos resultados se dimensionará la bomba de calor necesaria para cubrir dichas cargas.
- Seleccionar la bomba de calor geotérmica que cubra las demandas de climatización y de ACS.
- Seleccionar el método de captación más adecuado a las características de la vivienda y calcular sus parámetros más característicos.
- Estudiar los métodos más adecuados para la climatización de la vivienda: suelo radiante, calefactores, fan coils...
- Estudiar la rentabilidad económica de la implantación del sistema de climatización geotérmica.

### 3 Energía Geotérmica

La energía geotérmica se basa en aprovechar el calor del manto terrestre, este actúa como un colector solar almacenando en su interior parte de la radiación solar incidente. Esta fuente de energía se considera renovable ya que no se trata de una fuente de energía agotable como las fósiles, no produce elementos nocivos como CO<sub>2</sub> o gases de efecto invernadero, y es inagotable.

La extracción de energía del manto terrestre se puede utilizar con dos fines: producción de electricidad y climatización. Para la producción de electricidad se necesita extraer agua del subsuelo a grandes temperaturas por lo que o bien se hace la extracción a gran profundidad, puesto que a mayor profundidad se pueden conseguir temperaturas de unos 300 °C, o se aprovecha el calor proveniente de zonas de alta entalpía como volcanes, zonas de producción de agua termal, etc. En la figura adjunta se muestra un sencillo esquema de una central eléctrica con aprovechamiento de energía geotérmica:



*Ilustración 1. Central Eléctrica mediante Geotermia (Alternative Energy Today,*

En el presente proyecto se utiliza la geotermia como fuente de climatización.

Al encontrarse el manto terrestre a una temperatura más o menos constante durante todo el año quiere decir que en invierno se encuentra a una temperatura más caliente que el aire exterior y en verano a temperatura más baja que el exterior.

Con o sin la ayuda de la climatología, este sistema de calefacción es el ideal para cualquier región del planeta, incluso para las zonas térmicamente más desfavorables, es respetuoso con la naturaleza, basado en una fuente de energía renovable, de bajo consumo y optimizador de recursos.

El principio es sencillo, las bombas geotérmicas aprovechan la energía calorífica almacenada en el subsuelo, ya sea tierra, roca, o aguas subterráneas. Por medio de una solución, agua con anticongelante, que circula por un colector subterráneo intercambia energía con el subsuelo gracias a la acción de una bomba de calor (ver sección 8). En invierno el sistema capta calor del terreno calentando la vivienda a través de los radiadores o suelo radiante y suministrando el ACS necesaria. En verano, se invierte el proceso, el calor es cedido al terreno consiguiendo la refrigeración de la casa. Las bombas de calor geotérmicas no necesitan combustión por lo que no emiten CO<sub>2</sub>.

Para el dimensionado del equipo hay que tener en cuenta no solo el tipo de vivienda si no las propiedades climatológicas y las propiedades del terreno. En el interior de la vivienda se realizan las conexiones con los sistemas de calefacción, refrigeración y ACS.

El sistema de climatización mediante energía geotérmica está muy desarrollado en otros países del mundo, principalmente Estados Unidos y norte de Europa, usándose incluso bajo el asfalto de puentes, autopistas o pistas de aterrizaje. En la siguiente imagen se muestra el reparto de instalaciones geotérmicas a lo largo de Europa:

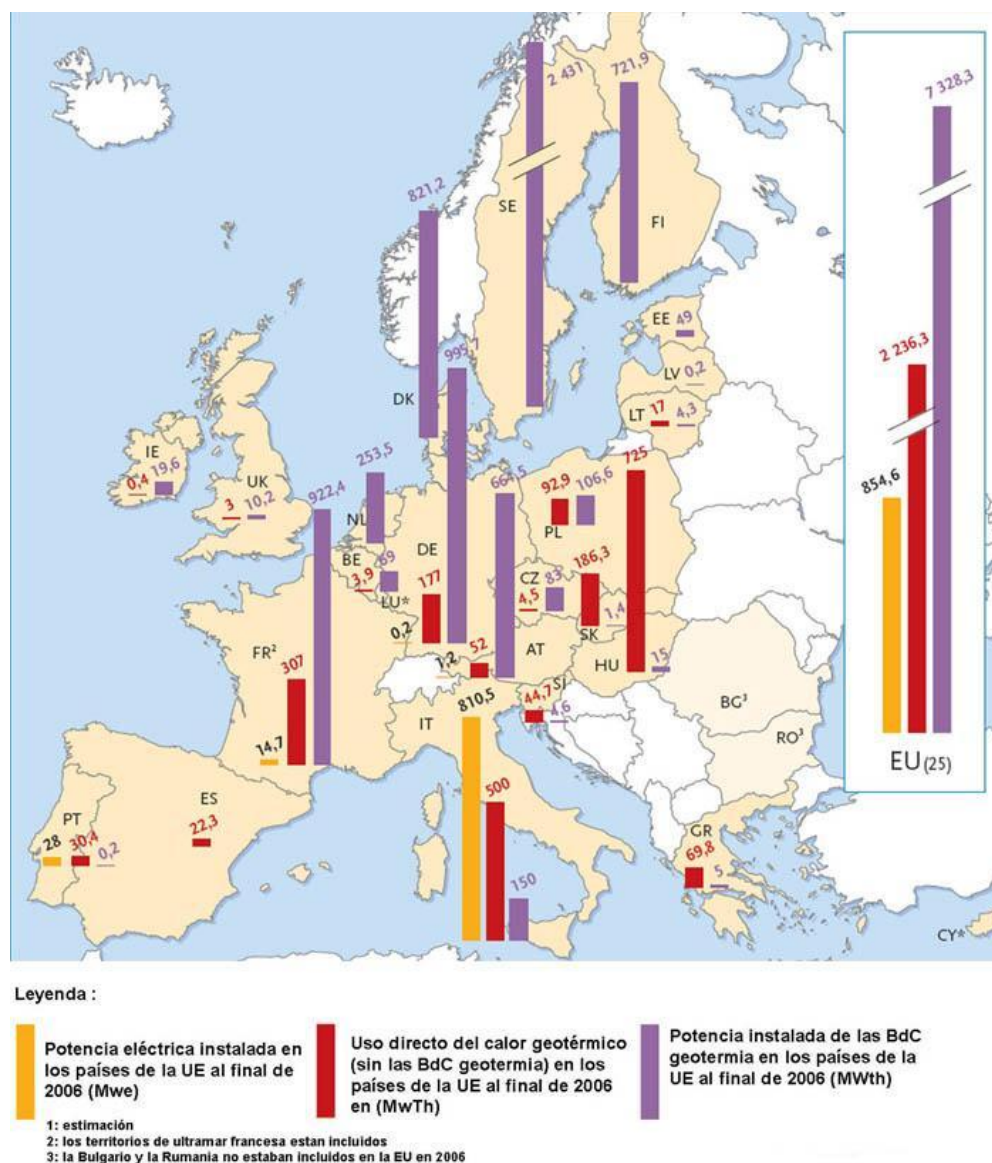


Ilustración 2. Instalaciones geotérmicas en Europa en 2006 (EurObserver'ER, 2007)

Como se puede apreciar, en países como Italia se aprovecha la geotermia mas para la producción de electricidad que para la climatización pero en lo que quiere incidir este proyecto es en su uso para climatizar por lo que se debe reseñar el gran aprovechamiento que se hace de este sistema en países como Suecia y destacar el poco y casi inexistente uso que se realiza en nuestro país, España.

Se muestra a continuación los datos por países de la UE de la cantidad de MW térmicos que aprovechan (Suiza no está incluida pero posee también un parque geotérmico importante):

| NOMBRE DE PACG ET PUISSANCE INSTALLÉE* DANS LES PAYS DE L'UNION EUROPÉENNE EN 2005 ET 2006<br>QUANTITY AND INSTALLED CAPACITY OF GEOTHERMAL HEAT PUMPS* IN THE EUROPEAN UNION COUNTRIES IN 2005 AND 2006 |                  |                                           |                  |                                           |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|-------------------------------------------|------------------|-------------------------------------------|
| Pays/Countries                                                                                                                                                                                           | 2005             |                                           | 2006             |                                           |
|                                                                                                                                                                                                          | Nombre<br>Number | Puissance (en MWth)<br>Capacity (in MWth) | Nombre<br>Number | Puissance (en MWth)<br>Capacity (in MWth) |
| Suède/Sweden                                                                                                                                                                                             | 230 094          | 2 070,8                                   | 270 111          | 2 431,0                                   |
| Allemagne/Germany                                                                                                                                                                                        | 61 912           | 681,0                                     | 90 517           | 995,7                                     |
| France/France                                                                                                                                                                                            | 63 830           | 702,1                                     | 83 856           | 922,4                                     |
| Danemark/Denmark                                                                                                                                                                                         | 43 252           | 821,2                                     | 43 252           | 821,2                                     |
| Finlande/Finland                                                                                                                                                                                         | 29 106           | 624,3                                     | 33 612           | 721,9                                     |
| Autriche/Austria                                                                                                                                                                                         | 32 916           | 570,2                                     | 40 151           | 664,5                                     |
| Pays-Bas/Netherlands                                                                                                                                                                                     | 1 600            | 253,5                                     | 1 600            | 253,5                                     |
| Italie/Italy                                                                                                                                                                                             | 6 000            | 120,0                                     | 7 500            | 150,0                                     |
| Pologne/Poland                                                                                                                                                                                           | 8 100            | 104,6                                     | 8 300            | 106,6                                     |
| République tchèque/Czech Republic                                                                                                                                                                        | 3 727            | 61,0                                      | 5 173            | 83,0                                      |
| Belgique/Belgium                                                                                                                                                                                         | 6 000            | 64,5                                      | 7 000            | 69,0                                      |
| Estonie/Estonia                                                                                                                                                                                          | 3 500            | 34,0                                      | 5 000            | 49,0                                      |
| Irlande/Ireland                                                                                                                                                                                          | 1 500            | 19,6                                      | 1 500            | 19,6                                      |
| Hongrie/Hungary                                                                                                                                                                                          | 230              | 6,5                                       | 350              | 15,0                                      |
| Royaume-Uni/United Kingdom                                                                                                                                                                               | 550              | 10,2                                      | 550              | 10,2                                      |
| Grèce/Greece                                                                                                                                                                                             | 400              | 5,0                                       | 400              | 5,0                                       |
| Slovénie/Slovenia                                                                                                                                                                                        | 300              | 3,4                                       | 420              | 4,6                                       |
| Lituanie/Lithuania                                                                                                                                                                                       | 200              | 4,3                                       | 200              | 4,3                                       |
| Slovaquie/Slovakia                                                                                                                                                                                       | 8                | 1,4                                       | 8                | 1,4                                       |
| Lettonie/Latvia                                                                                                                                                                                          | 10               | 0,2                                       | 10               | 0,2                                       |
| Portugal/Portugal                                                                                                                                                                                        | 1                | 0,2                                       | 1                | 0,2                                       |
| <b>Total UE à 25/EU 25</b>                                                                                                                                                                               | <b>493 236</b>   | <b>6 158,0</b>                            | <b>599 511</b>   | <b>7 328,3</b>                            |
| Bulgarie/Bulgaria                                                                                                                                                                                        | 19               | 0,3                                       | 19               | 0,3                                       |
| <b>Total UE à 27/EU 27</b>                                                                                                                                                                               | <b>493 255</b>   | <b>6 158,3</b>                            | <b>599 530</b>   | <b>7 328,6</b>                            |

\* Estimation/Estimate.

Source : EurObserver'ER 2007

Tabla 1. MW geotérmicos por países europeos. (EurObserver'ER 2007)

Como se puede observar no hay datos referentes a España ya que es mínimo el aprovechamiento de esta fuente renovable. Por ello, una de las motivaciones de este proyecto es la investigación sobre el tema e intentar potenciar la implantación de este sistema de climatización tan beneficioso en nuestro país.

## 4 Legislación aplicable

Para la redacción del proyecto técnico se debe tener en cuenta la siguiente legislación, la cual será de obligado cumplimiento durante la realización de los trabajos:

- Código Técnico de la Edificación (CTE), Documento Básico HE (Ahorro de Energía). R.D. 314/2006 de 17 de Marzo y R.D. 1371/2007 de 19 de Octubre.
- Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE) y sus Instrucciones Técnicas Complementarias ITE. R.D. 1751/1998 de 31 de Julio y modificación posterior R.D. 1218/2002.
- Norma UNE 100011:1991, Ventilación Mínima necesaria en los recintos.
- Norma UNE 100001:1985, Condiciones exteriores según los valores climáticos anuales.
- Tablas de conductividad de materiales extraídas de la norma UNE EN ISO 10456:2001.
- Tablas de conductividad de materiales extraídas de las Bases de Datos del LIDER (versión 1.0), Documento Reconocido del CTE.
- Legislación correspondiente de la Comunidad Autónoma de Islas Baleares.
- Ordenanzas municipales del municipio de Es Mercadal.



## 5 Localización geográfica

El presente proyecto se refiere a una vivienda unifamiliar aislada con piscina, en la calle A, en Fornells, perteneciente al Ayuntamiento de Es Mercadal, en la isla de Menorca.

Latitud: 40° 03' 00" N

Longitud: 04° 07' 59" E



*Ilustración 3. Situación de Fornells en Menorca (Fuente: Google Earth)*



*Ilustración 4. Situación de la parcela 34 (Fuente: Google Earth)*

## 6 Descripción de la edificación

La edificación es una vivienda unifamiliar aislada, formada por dos plantas siendo estas planta baja y sótano.

La planta baja, alberga el acceso y los usos de salón-comedor y cocina. La planta sótano alberga cuatro dormitorios, dos aseos, sala de estar y una sala de máquinas. Su techo, transitable, sirve como terraza del salón.

Dos potentes pérgolas de cerrajería, jugando en dos orientaciones protegen de soleamiento tanto al salón-comedor, como al patio de la cocina.

La superficie total de la vivienda es algo menor de 200 m<sup>2</sup>, aunque la superficie total que se va a climatizar es de 131,47 m<sup>2</sup>.

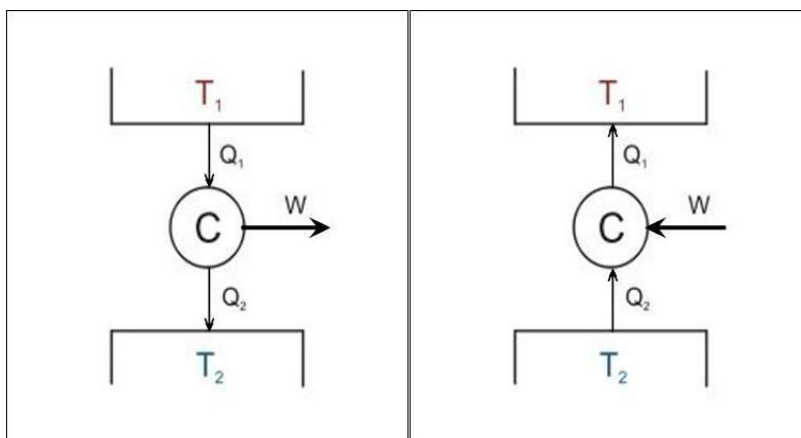
## **7 Necesidades térmicas**

Para ver un proceso detallado del proceso de cálculo de la demanda energética de la vivienda se remite al capítulo 2 de la presente memoria, *Cálculos*.

A modo de resumen, en esta sección se resaltan las demandas máximas de la vivienda correspondientes a las situaciones más desfavorables en invierno y en verano. La demanda calorífica máxima para invierno será de 7,4 kW y la frigorífica para verano de 4,87 kW.

## 8 La bomba de calor

Las bombas de calor se basan en el principio de la máquina de Carnot; Sadi Carnot estudió un ciclo termodinámico ideal reversible operando entre dos focos, uno caliente y otro frío absorbiendo una cantidad de calor de la fuente de alta temperatura cediendo calor a la de baja temperatura produciendo un trabajo sobre el exterior. Al tratarse de una maquina ideal es, por tanto, reversible lo que significa que se puede realizar el proceso también de forma inversa, entonces la máquina absorbe calor de la fuente fría y cede calor a la fuente caliente, teniendo que suministrar trabajo a la máquina. En la ilustración 5 se muestra un esquema de las dos posibles variantes del ciclo de Carnot:



*Ilustración 5. Esquema de la Máquina de Carnot en sus dos formas*

Después de explicar el concepto de la máquina de Carnot se puede definir la bomba de calor como una máquina térmica que permite transferir energía en forma calorífica de un foco a otro según se requiera calefactar o refrigerar aplicando para ello un trabajo.

Este fenómeno de transferencia de energía se realiza, principalmente, por medio de un sistema de refrigeración por compresión de gases refrigerantes cuya particularidad radica en su válvula inversora de ciclo, la que puede invertir el sentido del flujo de

refrigeración transformando el condensador en evaporador y viceversa. A continuación será explicado más detalladamente el proceso.

Una bomba de calor de refrigeración por compresión emplea un fluido refrigerante con un bajo punto de ebullición. Éste requiere energía (denominada calor latente) para evaporarse, y extrae esa energía de su alrededor en forma de calor.

El fluido refrigerante a baja temperatura y en estado gaseoso pasa por un compresor, el que eleva su presión aumentando así su energía interna. Éste, al pasar por el intercambiador de calor llamado condensador, cede calor al foco caliente ya que está aún más caliente que éste, donde cambia su estado a líquido. El condensador, en el caso de la utilización de energía geotérmica, será la bomba de calor la que suministrará el calor perdido por el fluido refrigerante al circuito interno de la vivienda, calentándose así el agua que se hará pasar por los sistemas de calefacción. Después se le hace pasar por una válvula de expansión, donde recupera la presión inicial y se enfría bruscamente. Luego pasa por otro intercambiador de calor, el evaporador, donde absorbe calor del foco frío, puesto que está más frío que dicho foco, y se evapora, volviéndose a iniciar el ciclo. En el caso de las bombas de calor geotérmicas el evaporador será el intercambiador con el circuito que se introduce en la tierra si se requiere su utilización en forma de calefacción.

La válvula inversora de ciclo, o válvula inversora de cuatro vías se encuentra a la salida (descarga) del compresor y, según la temperatura del medio a climatizar conmuta invirtiendo el flujo de refrigeración.

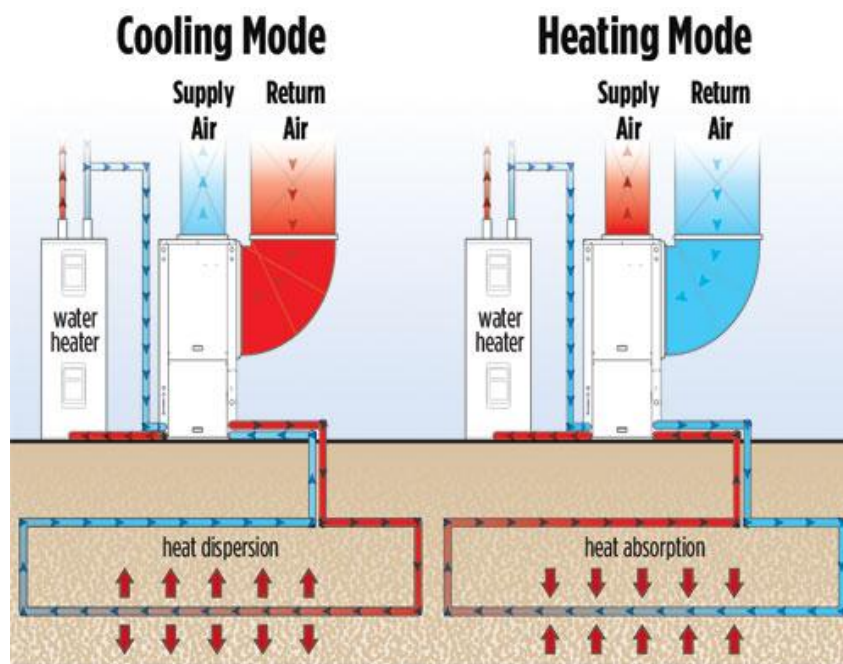
### **8.1 La bomba de calor geotérmica**

Las bombas de calor geotérmicas (BCG) son de muy variada función, precio y diseño, teniendo incluso la posibilidad de ser capaces de abastecer a una vivienda de la necesaria cantidad de calor para su uso en calefacción y ACS.

La tierra actúa como un foco térmico que se mantiene siempre a la misma temperatura, es este el aspecto más importante de toda la teoría de las BCG, y se considera con una masa infinitamente superior a la de la vivienda por lo que se acerca mucho a la definición de foco térmico que teorizó Carnot para el concepto de bomba de calor

Las BCG no queman ningún tipo de combustible para generar calor y al igual que cualquier caldera convencional también disponen de una serie de motores, bombas y compresores que consumen energía eléctrica. El consumo eléctrico de estos componentes es de una proporción muy favorable, no sólo para la economía familiar, también para la salud de nuestro planeta. Según la mayoría de los fabricantes de estos aparatos, aportando aproximadamente 1 kW de energía eléctrica en concepto de los componentes antes citados, las BCG proporcionan en torno a 4 kW caloríficos.

En la siguiente ilustración se muestra el funcionamiento de una bomba de calor geotérmica de manera esquemática en sus dos opciones, para calefactar y para refrigerar. Se ve como, desde la misma toma proveniente del subsuelo se puede obtener tanto el aire frío/caliente como el ACS para baños y cocina.



*Ilustración 6. Bomba de Calor Geotérmica (Polytherm Española S.A.)*

El precio de una instalación geotérmica bien calculada dependerá de la zona climática y los  $m^2$  a climatizar de la vivienda.

En la actualidad se utilizan refrigerantes de nueva generación como el *R-407c*, que no tiene cloro y está hecho principalmente de HFC's e hidrocarburos. Los HFC's son fluidos refrigerantes sin cloro, y por tanto sin efecto sobre la reducción de la capa de ozono. Los más utilizados en las Bombas de Calor son los líquidos *R-134a*, *R-152a*, *R-32*, *R-125* y *R-143a*.

## 8.2 Elección de la bomba de calor

Para la elección de la bomba de calor más adecuada a la vivienda objeto de estudio se investigarán varios fabricantes y marcas.

Para la elección de la bomba se tendrán en cuenta los valores de cargas térmicas máximas indicados en la sección 7 de 7,4 kW caloríficos y 4,87 kW frigoríficos.

Se decidió instalar una bomba de calor compacta, es decir, que la bomba de calor llevase incorporado un depósito para ACS.

La bomba de calor seleccionada es la *Carno HCS-PK-232K* de la marca *HAUTEC* capaz de suministrar una potencia calorífica de 7,8 kW, suficiente para asegurar la correcta climatización del edificio.

La marca HAUTEC es una empresa de más de 30 años de experiencia en el sector de las BCG considerada como un fabricante líder en Alemania y en Europa. En España, GeoRenova S.L. es sucursal autorizada de HAUTEC.

La bomba de calor seleccionada tiene la capacidad de producir ACS gracias a un circuito secundario interno y lleva incorporado un depósito de 200 l de capacidad. La potencia térmica aportada para la generación de ACS es de 1,6 kW térmicos.



*Ilustración 7. Carno HCS-PK-232K de HAUTEC*

Esta bomba de calor tiene un COP de 4,6 según datos del fabricante y tiene una necesidad eléctrica de entrada de 1,69 kW.

Con esta bomba de calor, para cumplir con las necesidades térmicas de invierno, el aporte eléctrico necesario es:



$$P_{el\acute{e}ctrica} = P_{necesaria} / COP = 7,4kW / 4,6 = 1,6kW$$

*Ecuación 1. Potencia eléctrica necesaria*

La bomba de calor se localizará en la estancia llamada *Sala de Máquinas* hasta donde llegarán los tubos provenientes de la captación y desde donde saldrán los circuitos de refrigeración y de calefacción.

Para poder utilizar la bomba de calor en verano y refrigerar la vivienda, hay que aprovechar la captación como foco frío; para ello hay que acoplar a la bomba de calor un módulo de refrescamiento. Consiste en hacer circular el fluido caloportador del circuito de la captación geotérmica a través de un intercambiador de placas.

## 9 Captación geotérmica

En esta sección se analizarán los diferentes sistemas de captación del calor geotérmico y se seleccionará uno de ellos para la climatización de la vivienda objeto de estudio de este proyecto.

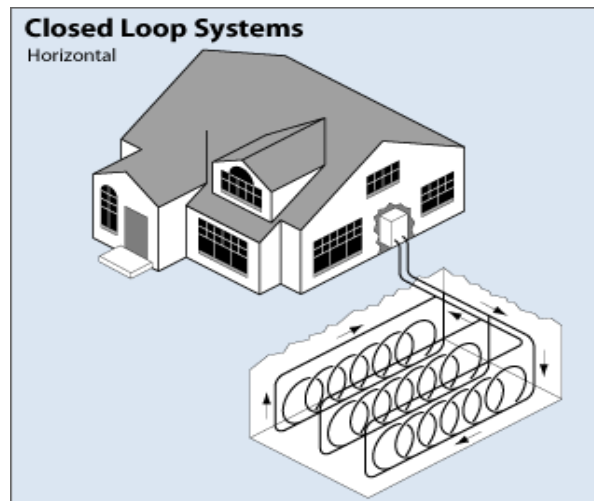
### 9.1 Tipos de captación

Para conseguir el mejor intercambio de calor con el suelo existen varios sistemas diferentes de captación. Las opciones son las siguientes:

- Superficie de intercambio horizontal

Es el más utilizado en viviendas unifamiliares y residenciales. De extensión entre 1,5 y 2 veces la superficie a climatizar. La profundidad de este tipo de circuito oscila entre los 70 cm y los 5 m, pero lo más habitual es enterrarlo a 1 m aproximadamente. Esta variante es menos eficiente que la vertical que veremos a continuación, ya que a esta profundidad el terreno se ve afectado ligeramente por la climatología. Sin embargo, desde el punto de vista económico hay que destacar que su instalación requiere un coste menor. Los tubos pueden ser de polipropileno reticulado, polietileno rígido o polietileno de baja intensidad.

Si se dispone de poco terreno se puede colocar el tubo en forma espiral, a esta disposición de la llama *slinky*.

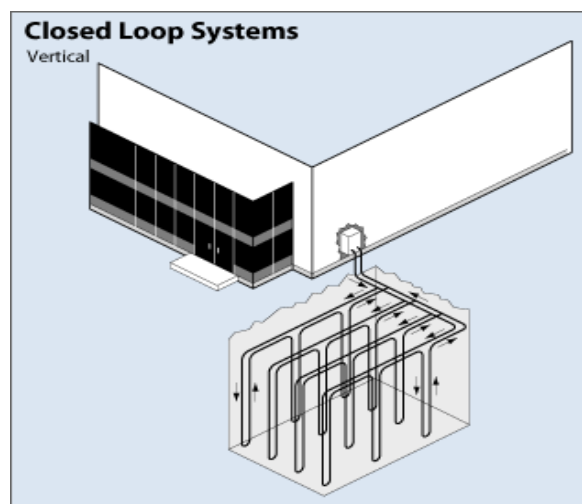


*Ilustración 8. Captación Horizontal (Chiller Solutions)*

- Superficie de intercambio vertical

Se suele emplear cuando no se dispone de terreno para la red horizontal. Se trata de un sistema más caro que el horizontal, pero se debe tener en cuenta que entre los 10 o 20 metros de profundidad la temperatura es constante durante todo el año, rondando entre los 7 y 14 °C, con lo cual el suministro de calorías está siempre asegurado y el consumo del aparato será más regular.

Los tubos más utilizados son de polietileno.

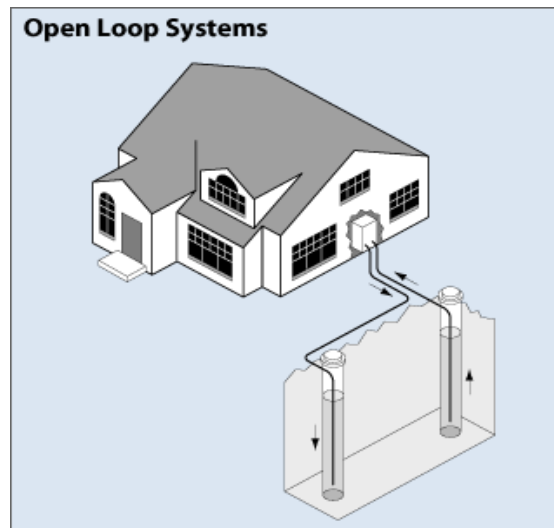


*Ilustración 9. Captación Vertical (Chiller Solutions)*

- Circuitos abiertos

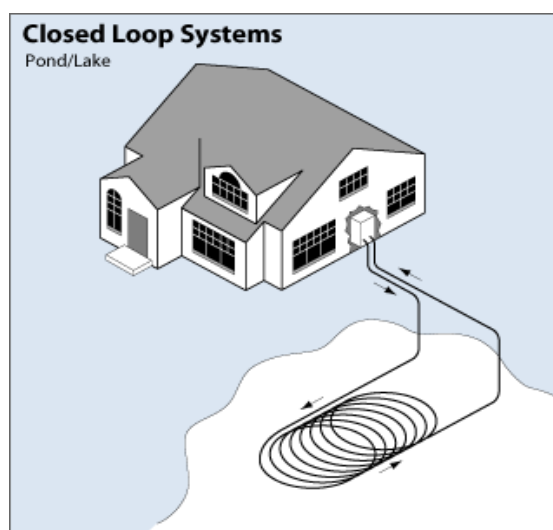
Dentro de esta clasificación nos podemos encontrar con las captaciones de aguas freáticas y las sumergidas en pozos, lagunas, etc.

Las captaciones de aguas freáticas necesitan la existencia de un acuífero o corriente subterránea cerca, así, en lugar de recircular el fluido en un circuito cerrado se puede extraer el agua del acuífero y devolverlo a la tierra en otro punto cercano. Desde el punto de vista económico esta es la opción más interesante.



*Ilustración 10. Captación de Aguas Freáticas (Chiller Solutions)*

Los intercambiadores sumergidos deben disponer de una gran masa de agua como un río o un lago, donde se sumergen los tubos. Este sistema no afecta a la fauna que pudiera existir en el río/lago ya que la gran diferencia de flujos másicos que se da entre las dos corrientes es suficiente para no alterar las condiciones normales del medio. Es una opción muy interesante por ser barata y muy eficiente.



*Ilustración 11. Captación Sumergida (Chiller Solutions)*

## 9.2 Tipo de captación seleccionado

Según el informe geotécnico previo al estudio de la construcción de la vivienda y que no ha sido posible adjuntar en esta memoria por no disponer de permisos, bajo el terreno correspondiente a la parcela 34 «durante la realización de los sondeos no se detectó la presencia del nivel freático, aguas muertas o aguas colgadas». Debido a los datos del informe geotécnico se puede descartar pues la opción de la captación abierta de aguas freáticas.

Para la implantación de un sistema de captación horizontal es necesario disponer de un área de terreno de aproximadamente 1,5 veces el área de la vivienda a climatizar. El área a climatizar es de  $131,47 \text{ m}^2$  por lo que se necesitarían  $197,2 \text{ m}^2$  libres de parcela. Como se puede apreciar claramente en los planos de este proyecto, el área libre de parcela no llega a ser suficiente para realizar la captación horizontal, por lo que se debe descartar también este sistema.

El sistema de captación seleccionado para la vivienda es, pues, el vertical.

### 9.3 Cálculo de parámetros para la captación

Para calcular la profundidad hasta la que se debe perforar para realizar la captación se seguirá el siguiente procedimiento:

Basándose en los estudios geológicos, la conductividad de la tierra en la zona de la vivienda es de tipo grava/arena por lo que la conductividad térmica del terreno es de 25 W/m de sonda.

| Horas de funcionamiento<br>Subsuelo                                                       | 1800 h                                          | 2400 h   |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|----------|
|                                                                                           | Capacidad térmica específica<br>en W/m de sonda |          |
| <b>Valores orientativos generales:</b>                                                    |                                                 |          |
| Subsuelo inapropiado                                                                      | 25                                              | 20       |
| (sedimento seco) ( $\lambda < 1,5$ W/mK)                                                  |                                                 |          |
| Subsuelo normal de roca consolidada y sedimento saturado con agua ( $\lambda < 3,0$ W/mK) | 60                                              | 50       |
| Roca consolidada con elevada conductividad térmica ( $\lambda < 3,0$ W/mK)                | 84                                              | 70       |
| <b>Rocas aisladas:</b>                                                                    |                                                 |          |
| Gravilla, arena, secas                                                                    | < 25                                            | < 20     |
| Gravilla, arena, con contenido en agua                                                    | 65 - 80                                         | 55 - 85  |
| Corriente freática fuerte a través de gravilla y arena, para instalaciones individuales   | 80 - 100                                        | 80 - 100 |
| Arcilla, limo, húmedos                                                                    | 35 - 50                                         | 30 - 40  |
| Piedra caliza (maciza)                                                                    | 55 - 70                                         | 45 - 60  |
| Piedra arenisca                                                                           | 65 - 80                                         | 55 - 65  |
| Magmatitas ácidas (p.ej. granito)                                                         | 65 - 85                                         | 55 - 70  |
| Magmatitas básicas (p.ej. basalto)                                                        | 40 - 65                                         | 35 - 55  |
| Gneis                                                                                     | 70 - 85                                         | 60 - 70  |

Tabla 2. Capacidades térmicas por m de sonda

Primero hay que calcular la potencia del evaporador:

$$P_{\text{evaporador}} = \frac{P_{\text{caloríficaBCG}} \cdot (COP - 1)}{COP} = \frac{7,8kW \cdot (4,6 - 1)}{4,6} = 6,104kW$$

*Ecuación 2. Potencia del evaporador*

Para calcular la profundidad de la sonda:

$$L_{\text{sonda}} = \frac{P_{\text{evaporador}}}{\text{Capacidad}_{\text{térmica}}_{\text{suelo}}} = \frac{6,104kW}{25W/m} = 244m$$

*Ecuación 3. Profundidad de la sonda*

Si se quisiese hacer una única sonda vertical tendría que ser de 244 m. Sin embargo es mucho más sencillo realizar varias sondas y se decide realizar 3 sondas de 85 m cada una.

## 10 Calefacción

En esta sección se estudiarán las posibilidades de las que se dispone en la actualidad para realizar la instalación de calefacción de la vivienda objeto de estudio.

### 10.1 Tipos de calefacción

Actualmente se suelen instalar los siguientes sistemas para calefactar edificios:

- Fan-coil

El fan-coil, literalmente ‘ventilador serpentín’, está compuesto por uno o dos intercambiadores de calor de tubos aleteados, uno o varios ventiladores, filtro de aire y un armazón que cierra en conjunto con dos registros para la entrada y salida de aire. Es un sistema bivalente, produce frío o calor según la temperatura del fluido que pasa por la batería o intercambiador de calor. Es un sistema de baja inercia térmica y calienta por convección forzada.

Una de sus ventajas es que tiene una gran independencia de funcionamiento y permite sectorizar los locales.

Como inconvenientes hay que destacar que puede provocar ruidos y corrientes de aire y necesita un buen sistema de regulación, por lo que su instalación se encarece.

- Radiadores de agua

Es el sistema más empleado en los edificios de viviendas. Su principio es sencillo, hacer pasar agua caliente por un bloque, generalmente de aluminio, con un



hueco en su interior en forma de serpentín. Pese a que la idea inicial del radiador fue como fuente de radiación, su verdadero funcionamiento es por convección natural.

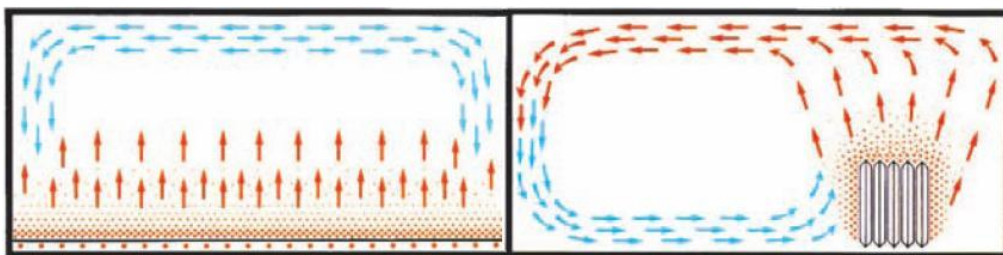
Tiene el inconveniente de que para que funcione necesita crear una corriente natural, por ello, se suelen situar bajo las ventanas o junto a estas para que al calentar el aire frío ascienda y se distribuya por la habitación. Esto provoca corrientes de aire que en ocasiones levanta el polvo. El otro inconveniente de este sistema es que provoca que a cotas más altas de la habitación el aire este más caliente que en las bajas, precisamente cuando suele ser la cabeza la parte más caliente del cuerpo humano.

- Suelo radiante

Consiste en una cañería situada en un falso suelo que cubre una gran superficie. Tiene una limitación de potencia calorífica de  $0,12 \text{ kW/m}^2$  de superficie de tierra y de temperatura superficial del suelo de  $29^\circ\text{C}$ .

Tiene la ventaja de poseer una gran inercia térmica y son instalaciones ideales para climas fríos y viviendas y locales aislados con funcionamiento constante.

En la siguiente comparación entre la calefacción por suelo radiante y el método convencional de radiadores se aprecian las diferencias en sus corrientes de aire.



*Ilustración 12. Comparación suelo radiante/radiadores (Polytherm Española S.A.)*

## 10.2 Tipo de calefacción seleccionado

El sistema seleccionado para la implantación en la vivienda objeto de estudio es el suelo radiante.

Como se dijo anteriormente se trata de una cañería o red de tubos de polietileno por debajo del piso de las habitaciones por la que pasa el agua caliente en torno a 40 °C mientras que por los radiadores el agua tendría que calentarse hasta alcanzar los 70 °C aproximadamente. En este proyecto el agua caliente proviene de la bomba de calor. De esta forma se consigue una temperatura ambiente de 20-22 °C.

Este sistema es el más adecuado a emplear ya que si el calor asciende lo más lógico es hacer que provenga de lo más abajo posible. En la imagen siguiente se comparan los distintos sistemas de calefacción y se aprecia como el sistema por suelo radiante es el que mantiene más constante la temperatura interior pero también el que más se aproxima a lo teóricamente ideal.

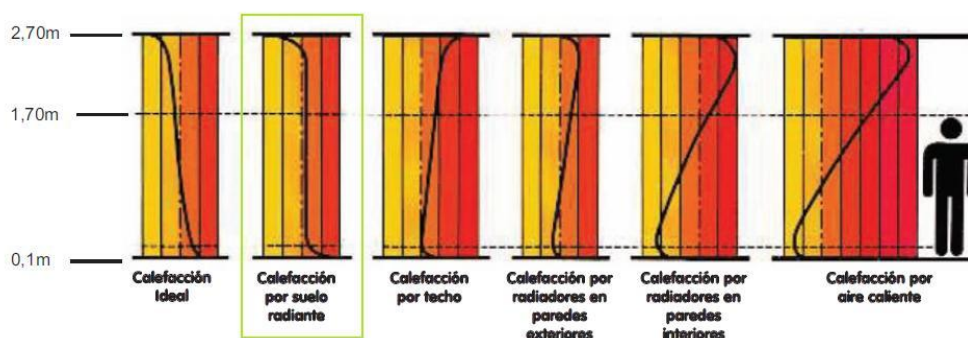


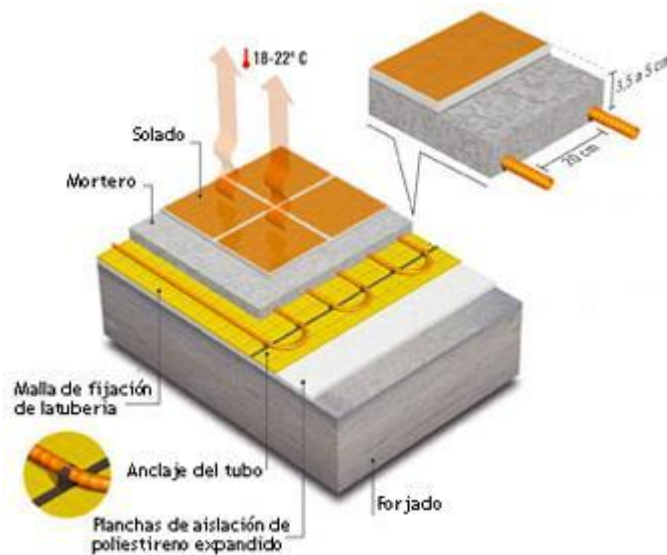
Ilustración 13. Distribución de calor de los distintos sistemas de calefacción (Polytherm Española S.A.)

El sistema de calefacción por suelo radiante presenta otras numerosas ventajas:

- En cuanto al consumo, permite un ahorro que oscila entre el 10% y el 30% en comparación con los radiadores tradicionales. Además, la división de la instalación de tubos bajo el suelo permite aislar las habitaciones que no se usan y, por tanto, reducir consumos.
- Respecto a la seguridad, la ausencia de radiadores verticales evita que niños pequeños se dañen con las esquinas o se quemen. Como no hay empalmes entre tuberías y la calidad del tubo de polietileno es muy buena, se garantiza la ausencia de averías.
- Mejora la uniformidad térmica y el confort ya que se consigue que el calor en la vivienda sea uniforme creándose una agradable sensación de confort. El ambiente no se reseca, por ello se recomienda en edificios residenciales y hospitales.
- La temperatura alcanzada en el interior es de alrededor de 22 °C, lo que permite que se mantengan la cabeza fría y los pies calientes, evitando posibles abotargamientos y dolores de cabeza.
- Al no ocupar espacio en el interior de la estancia por estar oculto en su inferior permite aprovechar todos los espacios.
- Es más limpia que los tradicionales radiadores, en éstos se acumula polvo y en ocasiones provocan manchas en las paredes.

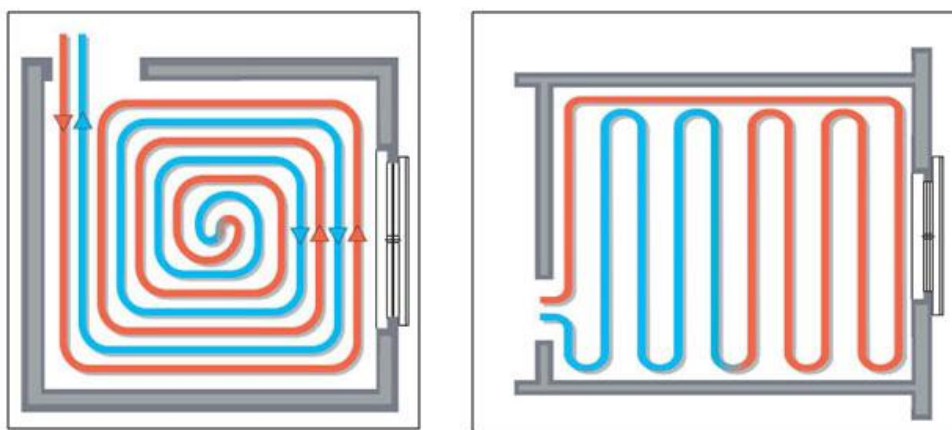
Las tuberías de agua (generalmente de material plástico) se distribuyen sobre el forjado, interponiendo un aislante térmico para evitar que el calor se disipe hacia la planta inferior. Sobre las tuberías se pone una capa de mortero de cemento y arena y luego el solado, que se recomienda sea de un material poco aislante térmicamente

(piedra, baldosa cerámica...) y no de madera o moqueta. En la siguiente imagen se aprecia cómo sería una sección de suelo radiante:



*Ilustración 14. Sección de composición del suelo radiante (Geotec DNT, S.L.)*

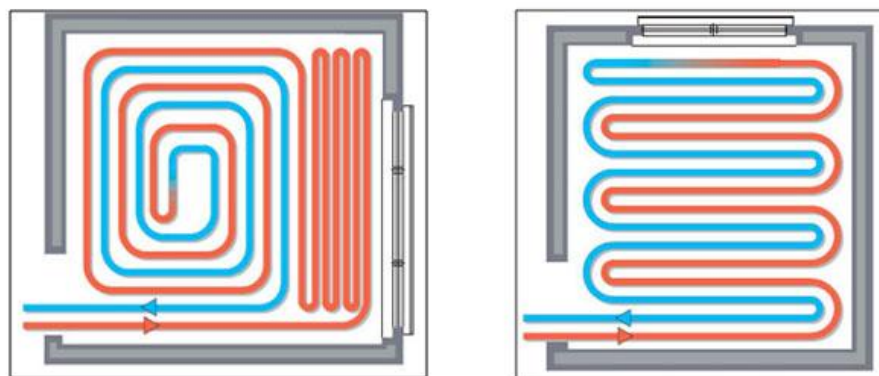
Para realizar el entramado de las tuberías en el suelo existen varias disposiciones, pero dos son las más empleadas: en espiral o en serpentín.



*Ilustración 15. Suelo radiante con tubos en espiral y serpentín (Geotec DNT, S.L.)*

En general se tratan de disponer de tal forma que la entrada de calor pase primero por las zonas más frías de la habitación, como las ventanas. Por eso, algunas

disposiciones también muy comunes son las de espiral y serpentín y la de doble serpentín.



*Ilustración 16. Distribución en espiral y serpentín y doble serpentín (Geotec DNT, S.L.)*

Por lo tanto para calefactar ambas plantas de la vivienda objeto de estudio se empleará este sistema de calefacción empleando para ello la disposición en serpentín.

Como se detalla en el apartado de cálculos, el tubo seleccionado es el de polietileno de 20-16 mm, con un módulo de distribución<sup>1</sup> 30/30 para la mayoría de estancias exceptuando el salón que dispondría de un módulo 30/6.

La instalación de suelo radiante de la vivienda consta de dos partes, una por cada planta teniendo cada una su distribuidor y en cada estancia se dispondrá de un termostato conectado a una electroválvula que regulará el funcionamiento de cada circuito.

---

<sup>1</sup> El módulo de distribución es el parámetro que indica la distancia a la que deben ir los tubos entre sí en un determinado circuito.

## 11 Refrigeración

En esta sección se estudiarán las posibilidades de las que se dispone en la actualidad para realizar la instalación de refrigeración de la vivienda objeto de estudio.

### 11.1 Tipos de refrigeración

En el mercado existen multitud de tipos de sistemas de refrigeración casi todos basados en el empleo de aire acondicionado. Se tratarán los más comunes explicando su forma y funcionamiento detallando sus ventajas e inconvenientes.

- De ventana

Una caja cuadrada contiene todas las partes funcionales del sistema. Debe colocarse en un hueco practicado en la pared de manera que quede una mitad del aparato en el exterior y la otra en el interior.

Tiene la ventaja de que el coste de instalación es muy bajo, pero el inconveniente del gran ruido que produce al funcionar.

- Splits (de pared)

Son los equipos más utilizados en la actualidad por presentar varias ventajas sobre los de ventana y ser relativamente económicos. La unidad que contiene el compresor se encuentra en el exterior del edificio y se comunica con la unidad interior mediante unos tubos. La variedad de potencias ofertada por estos aparatos es muy amplia.

Tienen la ventaja de funcionar a unos niveles de ruido muy bajos y ser bastante estéticos frente a los de ventana. Como inconveniente tienen que su instalación es más complicada lo que acarrea mayor coste.

- Split (consola de techo)

Su funcionamiento es similar a los de pared aunque suelen ser de mayor capacidad y potencia. Ésta es su principal ventaja frente al inconveniente de que su instalación es más costosa y compleja y suelen ser algo más ruidosos que los de pared.

- Centrales (compacto o tipo splits usando fan-coils)

El concepto es idéntico al de tipo splits de techo pero la instalación es mucho mayor. Su coste es muy alto pero ofrecen un alto nivel de confort.

Sus ventajas son que su mantenimiento es sencillo y espaciado en el tiempo. Su inconveniente es su alto coste de instalación.

## 11.2 Tipo de refrigeración elegido

Para realizar el sistema de refrigeración de la vivienda objeto de estudio de este proyecto se instalarán 7 aparatos de tipo fan-coil de techo, uno por cada habitación y dos en el salón comedor de la planta alta. En la cocina se instalará un fan-coil tipo cassette. La marca seleccionada para ambos tipos de aparatos es la marca Fujitsu.

Los fan-coils de techo serán del tipo ‘*Split Conductos*’ según el catálogo de la marca, en concreto el modelo ACY25UIF. Este aparato es capaz de suministrar 2,7 kW frigoríficos, más de lo que se necesita para enfriar cualquiera de las estancias, en

cada habitación se incorpora un mando que actúa sobre una electroválvula que permite regular la potencia de la máquina.



*Ilustración 17. Modelo ACY25UIF de Fujitsu*

El fan-coil tipo cassette seleccionado para la cocina será el modelo AUY25UIF. Proporciona también 2,7 kW frigoríficos a la cocina, lo que cubre por completo sus necesidades. También tendrá un mando portátil para controlar la temperatura.



*Ilustración 18. Modelo AUY25UIF de Fujitsu*

El circuito de refrigeración que pasa por los fan-coils tendrá dos ramales, uno por cada planta y los dos saldrán de la BCG situada en la sala de máquinas.



## **12 Valor total de la ejecución**

El coste total de los componentes, instalación, montaje y puesta en marcha de las instalaciones y equipos de captación geotérmica, calefacción y refrigeración para la climatización con energía geotérmica de una vivienda unifamiliar (desglosado detalladamente en el capítulo *PRESUPUESTO*), es de:

**EUROS: 25.219,27 €**



# CÁLCULOS

---



El Código Técnico de Edificación (CTE), aprobado el 17 de Marzo de 2006 y publicado el 28 de Marzo de 2006, presenta el Documento Básico HE (Ahorro Energético) que nace para el cumplimiento de la Directiva 2002/91/CE del Parlamento Europeo y del Consejo del 16 de diciembre de 2002. Esta Directiva justifica la mejora de la eficiencia energética de los edificios para el cumplimiento de lo dispuesto por el Protocolo de Kioto, estableciendo la necesidad de fomentar el uso de energías renovables.

El Documento Básico HE completa y moderniza los métodos para el cálculo de la demanda energética de los edificios y establece la necesidad del ahorro energético a través de dos parámetros:

- ◆ Un diseño eficiente de los edificios, que disminuya su demanda energética.
- ◆ El empleo de energías renovables para cubrir esta demanda energética.

Es éste, el documento HE, en el cual se basa todo el cálculo de la demanda energética de la vivienda. Por ello se seguirá un procedimiento como el que describe dicho documento.

### **13 Zonificación climática**

El CTE establece 12 zonas climáticas identificadas por una letra correspondiente a la división de invierno, y un número correspondiente a la división en verano. Las localidades que no son capitales de provincia, como es nuestro caso, no disponen de valores tabulados aprobados por norma, por lo que se obtienen de la tabla D.1 del CTE en función de la diferencia de altura que exista entre la localidad objeto de estudio y la capital de su provincia. En el caso de la localidad de Fornells, al estar a la altura del mar coincide con la altura de Palma de Mallorca por lo que su zona climática es la B3.

## **14 Condiciones climáticas exteriores**

La Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) proporciona los datos siguientes correspondientes al observatorio del Aeropuerto de Mahón, que es el mayor núcleo de población de la isla de Menorca y al encontrarse a únicamente 85 m por encima del nivel del mar son los datos más cercanos y fiables a los reales de la localidad de Fornells. Corresponden al periodo 1971-2000.

| Mes            | T                                                            | TM   | Tm   | R   | H  | DD | I    |
|----------------|--------------------------------------------------------------|------|------|-----|----|----|------|
| Enero          | 10.7                                                         | 14.0 | 7.5  | 59  | 77 | 3  | 148  |
| Febrero        | 10.8                                                         | 14.2 | 7.5  | 47  | 76 | 2  | 153  |
| Marzo          | 12.0                                                         | 15.5 | 8.4  | 42  | 74 | 4  | 200  |
| Abril          | 13.7                                                         | 17.3 | 10.0 | 48  | 73 | 4  | 222  |
| Mayo           | 17.2                                                         | 21.1 | 13.4 | 37  | 71 | 5  | 275  |
| Junio          | 21.1                                                         | 25.0 | 17.2 | 14  | 66 | 8  | 313  |
| Julio          | 24.3                                                         | 28.4 | 20.3 | 3   | 64 | 15 | 352  |
| Agosto         | 25.0                                                         | 28.9 | 21.1 | 22  | 67 | 12 | 314  |
| Septiembre     | 22.4                                                         | 26.1 | 18.7 | 48  | 72 | 5  | 235  |
| Octubre        | 18.7                                                         | 22.0 | 15.4 | 81  | 75 | 2  | 192  |
| Noviembre      | 14.4                                                         | 17.7 | 11.1 | 85  | 76 | 2  | 154  |
| Diciembre      | 12.0                                                         | 15.2 | 8.9  | 64  | 77 | 2  | 136  |
| Año            | 16.8                                                         | 20.4 | 13.2 | 599 | 73 | 66 | 2694 |
| <b>Leyenda</b> |                                                              |      |      |     |    |    |      |
| <b>T</b>       | Temperatura media mensual/anual (°C)                         |      |      |     |    |    |      |
| <b>TM</b>      | Media mensual/anual de las temperaturas máximas diarias (°C) |      |      |     |    |    |      |
| <b>Tm</b>      | Media mensual/anual de las temperaturas mínimas diarias (°C) |      |      |     |    |    |      |
| <b>R</b>       | Precipitación mensual/anual media (mm)                       |      |      |     |    |    |      |
| <b>H</b>       | Humedad relativa media (%)                                   |      |      |     |    |    |      |
| <b>DD</b>      | Número medio mensual/anual de días despejados                |      |      |     |    |    |      |
| <b>I</b>       | Número medio mensual/anual de horas de sol                   |      |      |     |    |    |      |

*Tabla 3. Datos climatológicos históricos de Mahón (AEMET)*



La AEMET también proporciona una serie de datos relativos a las medidas máximas y mínimas de temperatura alcanzadas en el mismo centro de observación para el periodo 1965-2007:

| <b>Variable</b>                             | <b>Anual</b>        |
|---------------------------------------------|---------------------|
| <b>Tem. máx. absoluta (°C)</b>              | 39.6 (26 jul. 1983) |
| <b>Tem. media de las máx. más alta (°C)</b> | 33.0 (ago 2003)     |
| <b>Tem. media de las mín. más baja (°C)</b> | 4.5 (ene 1985)      |
| <b>Tem. media más alta (°C)</b>             | 28.9 (ago 2003)     |
| <b>Tem. media más baja (°C)</b>             | 7.6 (ene 1985)      |
| <b>Tem. min. absoluta (°C)</b>              | -2.4 (09 ene 1985)  |

*Tabla 4. Valores máximos/mínimos para Mahón (AEMET)*

A la luz de estos datos, en el proceso de cálculo de cargas térmicas máximas tanto para calefacción como para refrigeración se tomarán los valores de 4.5 °C para el exterior durante el invierno y 33°C durante el verano. Se realizará de esta manera como medida de seguridad.

## 15 Condiciones interiores de diseño

Para los cálculos de las cargas térmicas se deben establecer unas temperaturas de diseño y confort en cada uno de los habitáculos a climatizar. En el presente proyecto se considerarán unas temperaturas de confort distintas para verano que para invierno.

Invierno:

- En las habitaciones (principal, 2, 3 y 4), en el salón-comedor y en la sala de estar se requerirán 22°C.
- En la cocina, debido a las tareas que se llevan a cabo en su interior, la temperatura será de 20°C.

Verano:

- Las habitaciones, salón-comedor y sala de estar se deberán poder estabilizar a 23°C.
- En la cocina, se requerirán 20°C.

Los valores considerados para los cálculos cumplen lo dispuesto al respecto de condiciones interiores de diseño en locales ocupados por el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE) y por la norma UNE 100011 que delimitan la temperatura de diseño entre 20 y 23 °C para invierno y entre 23 y 25 °C para verano. La cocina se considera una excepción ya que no es un local a considerar ocupado y debido a las tareas que se realizan en su interior.

## 16 Coeficientes de orientación

La orientación de las fachadas del edificio va a influir notablemente en el cálculo de cargas térmicas puesto que si tiene una orientación en la que durante la mayor parte del día recibe mucha radiación solar o por el contrario se encuentra a la sombra influirá en las necesidades energéticas que tendrá dicha fachada, y son factores a tener en cuenta a la hora de realizar un cálculo de cargas térmicas óptimo.

Por ello, se han utilizado los siguientes coeficientes para cada una de las distintas fachadas de la vivienda, de esta manera mayoramos las necesidades térmicas de las fachadas más ‘frías’:

- Coeficiente orientación N = 15%
- Coeficiente orientación E = 10%
- Coeficiente orientación SE = 10%
- Coeficiente orientación SO = 5%

## **17 Coeficiente de intermitencia**

Debido a que la instalación no estará en funcionamiento durante todas las horas del día, se toma en cuenta un coeficiente de intermitencia. Este coeficiente se suele utilizar en cálculos de climatización y concretamente en el programa CYPE, se trata de un suplemento que hay que tener en cuenta para cubrir la carga térmica debido a paradas de funcionamiento de las instalaciones.

El coeficiente de intermitencia se considera en función del tiempo; para paradas de menos de 12 horas se aplica un 15% y para paradas mayores entre un 20 y un 30%.

Para el presente proyecto se ha considerado un coeficiente de intermitencia del 15% ya que se consideran paradas menores de 12 horas.

Puesto que se pretende diseñar la calefacción de la vivienda mediante suelo radiante y éste se encuentra en funcionamiento de manera continua, este coeficiente sólo se deberá tener en cuenta en el cálculo de las cargas térmicas de verano.

## **18 Clasificación de los espacios**

De acuerdo con el CTE se debe hacer una serie de distinciones previas al cálculo de las demandas energéticas de un edificio.

La primera distinción es clasificar los espacios en habitables o no habitables. Tratándose el edificio de estudio en este proyecto de una vivienda de uso privado se han clasificado todos los espacios como habitables.

La segunda distinción tiene relación con el cálculo de la demanda energética ya que hay que clasificar los espacios habitables en función de la cantidad de calor disipada en su interior, debido a la actividad realizada y al periodo de utilización de cada espacio. Los espacios de la vivienda entrarían en el grupo de espacios de baja carga interna ya que son espacios en los que se disipa poco calor destinados principalmente a residir en ellos, con carácter eventual o permanente.

La tercera y última distinción de los espacios según el CTE tiene que ver con la comprobación de la limitación de condensaciones en los cerramientos ya que los espacios habitables se caracterizan por el exceso de humedad interior. Acorde con lo anterior y de acuerdo con la clasificación que se expresa en la norma EN ISO 13788: 2002, los espacios de la vivienda se clasificarían como «espacios de clase de higrometría 3 o inferior: espacios en los que se prevea una alta producción de humedad».

## 19 Envoltente térmica

La envoltente térmica de un edificio está compuesta por todos los cerramientos que limitan espacios habitables con el ambiente exterior (aire, terreno u otro edificio) y por todas las particiones interiores que limitan los espacios habitables con los espacios no habitables que a su vez estén en contacto con el ambiente exterior.

El CTE establece una clasificación de los cerramientos y particiones interiores de los espacios habitables de los cuales se tendrán en cuenta:

- Cubiertas: cerramientos superiores en contacto con el aire.
- Cerramientos en contacto con el terreno: aquellos cerramientos que, sin ser suelos, están en contacto con el terreno.
- Fachadas: cerramientos exteriores en contacto con el aire con inclinación superior a  $60^\circ$  con la horizontal. Se agrupan en seis orientaciones según los sectores angulares contenidos en la figura 3.1 del CTE que se adjunta a continuación. Para determinar la orientación de una fachada se calcula el ángulo  $\alpha$  formado por el norte geográfico y la normal exterior de la fachada.

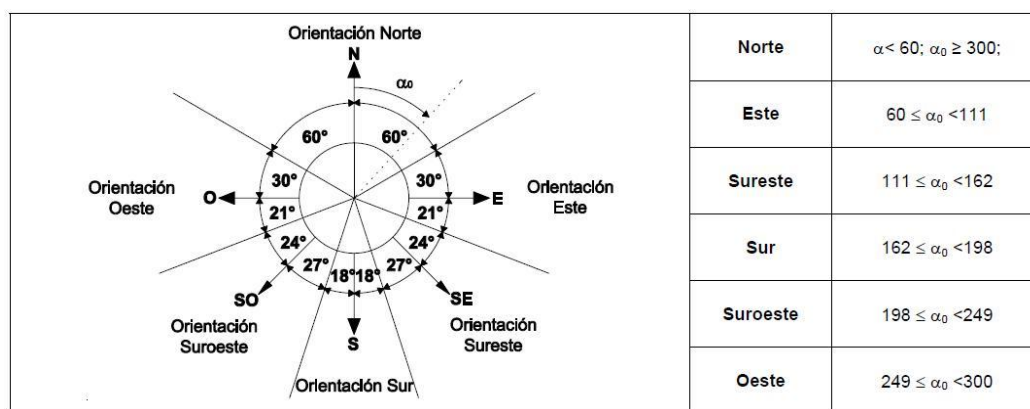
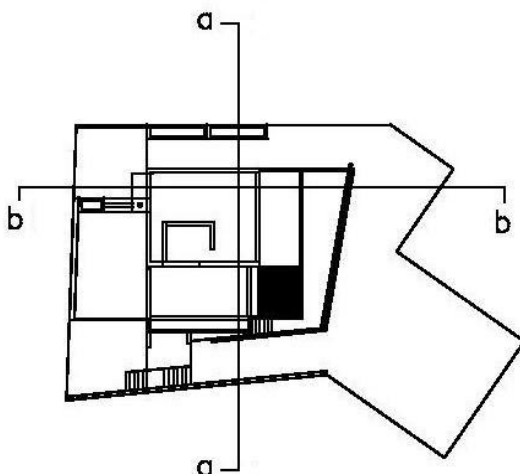


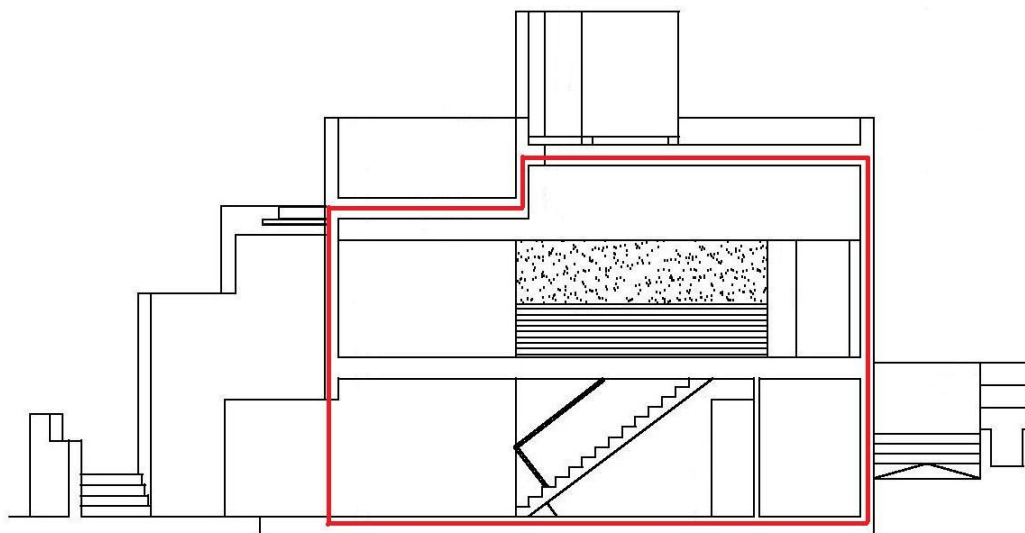
Tabla 5. Orientación de las fachadas (Figura 3.1 del CTE)

En las siguientes imágenes se muestra delimitada con trazo rojo la envolvente térmica correspondiente a la vivienda objeto de estudio de este proyecto. La primera ilustración muestra por dónde se realizan los cortes de las secciones para mostrar la envolvente térmica.



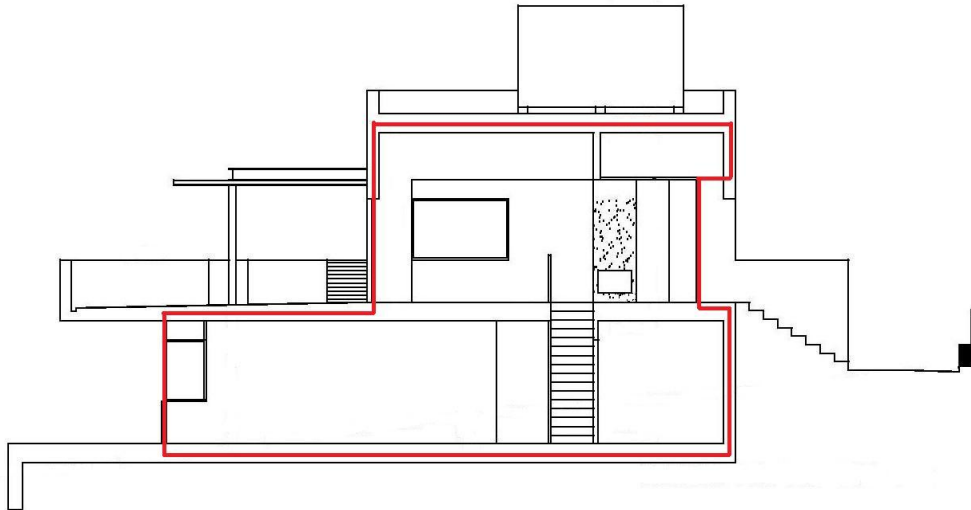
*Ilustración 19. Vista en planta con los cortes a-a y b-b*

Y en las ilustraciones 20 y 21 se delimita con trazo rojo la envolvente en el corte a-a:



*Ilustración 20. Corte a-a*

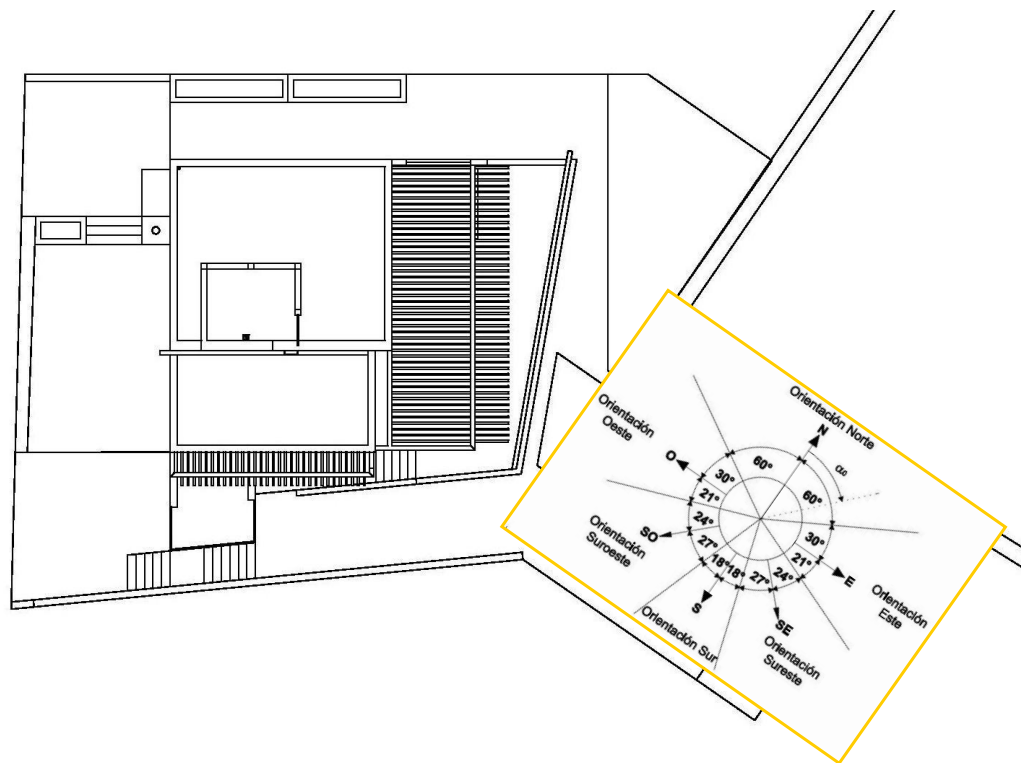
y en el corte b-b:



*Ilustración 21. Corte b-b*

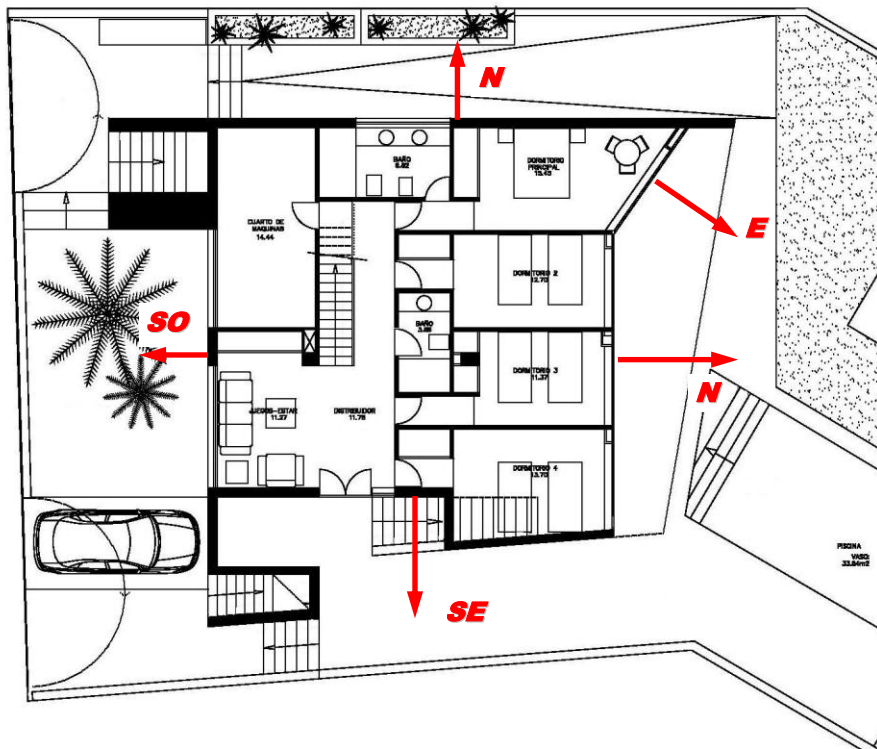
Una vez delimitada la envolvente térmica de la vivienda es preciso clasificar las fachadas del edificio según su orientación como ordena el CTE y que se explicó en la tabla 4. Para ello primero mostraremos una vista en planta general de la vivienda con la ‘brújula’ de la tabla 4 que se utiliza para establecer dicha clasificación.



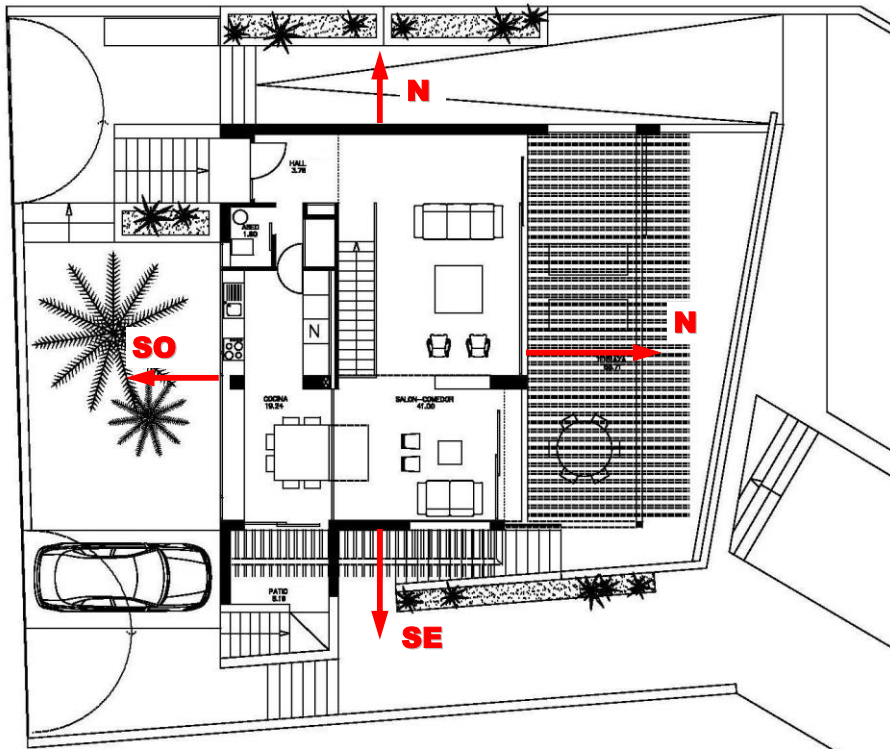


*Ilustración 22. Planta de la vivienda, clasificación de las fachadas*

Las ilustraciones siguientes muestran cada una de las plantas de la vivienda (sótano y baja) con una flecha que indica la orientación de cada una de las fachadas.



*Ilustración 23. Planta sótano. Orientación de las fachadas*



*Ilustración 24. Planta baja. Orientación de las fachadas*

## 20 Opción simplificada

Para el cálculo de la demanda energética de un edificio el CTE permite la utilización de dos métodos u opciones: la general y la simplificada. Mientras que la opción general evalúa la demanda energética de los edificios comparándola con la de un edificio de referencia definido en la propia opción, la opción simplificada se basa en el control de la demanda energética mediante la limitación de los parámetros característicos de los cerramientos, particiones interiores y del factor solar modificado que componen la envolvente térmica. Dicha comprobación se realiza a través de la comparación de los valores obtenidos mediante cálculos con los valores límite permitidos para cada zona climática.

En el caso de la localidad de Fornells, al encontrarse en la zona climática B3 los valores límite con que habrá que comparar son los siguientes:

### ZONA CLIMÁTICA B3

|                                                                                    |                                        |
|------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|
| Transmitancia límite de muros de fachada y cerramientos en contacto con el terreno | $U_{Mlim}: 0,82 \text{ W/m}^2\text{K}$ |
| Transmitancia límite de suelos                                                     | $U_{Slim}: 0,52 \text{ W/m}^2\text{K}$ |
| Transmitancia límite de cubiertas                                                  | $U_{Clim}: 0,45 \text{ W/m}^2\text{K}$ |
| Factor solar modificado límite de lucernarios                                      | $F_{Llim}: 0,30$                       |

| % de huecos | Transmitancia límite de huecos <sup>(1)</sup> $U_{Hlim} \text{ W/m}^2\text{K}$ |           |           |           | Factor solar modificado límite de huecos $F_{Hlim}$ |   |       |                    |      |       |
|-------------|--------------------------------------------------------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------------------------------------------------|---|-------|--------------------|------|-------|
|             |                                                                                |           |           |           | Baja carga interna                                  |   |       | Alta carga interna |      |       |
|             | N                                                                              | E/O       | S         | SE/SO     | E/O                                                 | S | SE/SO | E/O                | S    | SE/SO |
| de 0 a 10   | 5,4 (5,7)                                                                      | 5,7       | 5,7       | 5,7       | -                                                   | - | -     | -                  | -    | -     |
| de 11 a 20  | 3,8 (4,7)                                                                      | 4,9 (5,7) | 5,7       | 5,7       | -                                                   | - | -     | -                  | -    | -     |
| de 21 a 30  | 3,3 (3,8)                                                                      | 4,3 (4,7) | 5,7       | 5,7       | -                                                   | - | -     | 0,57               | -    | -     |
| de 31 a 40  | 3,0 (3,3)                                                                      | 4,0 (4,2) | 5,6 (5,7) | 5,6 (5,7) | -                                                   | - | -     | 0,45               | -    | 0,50  |
| de 41 a 50  | 2,8 (3,0)                                                                      | 3,7 (3,9) | 5,4 (5,5) | 5,4 (5,5) | 0,53                                                | - | 0,59  | 0,38               | 0,57 | 0,43  |
| de 51 a 60  | 2,7 (2,8)                                                                      | 3,6 (3,7) | 5,2 (5,3) | 5,2 (5,3) | 0,46                                                | - | 0,52  | 0,33               | 0,51 | 0,38  |

Tabla 6. Valores límite para la zona B3 (Extraído de la tabla 2.2 del CTE)

Para poder aplicar la opción simplificada al cálculo de la demanda energética de un edificio se deben cumplir ciertos requisitos:

- a) que el porcentaje de huecos en cada fachada sea inferior al 60% de su superficie.

En el caso de la vivienda objeto de estudio de este proyecto, y como se puede ver en la tabla siguiente, el porcentaje de huecos es inferior al 60% en todas las fachadas.

| <b>FACHADAS</b> |                                |                               |                              |               |
|-----------------|--------------------------------|-------------------------------|------------------------------|---------------|
|                 | Área Fachada (m <sup>2</sup> ) | Área Huecos (m <sup>2</sup> ) | Área Libre (m <sup>2</sup> ) | % Área Huecos |
| N               | 128,812                        | 32,1196                       | 96,6924                      | <b>24,94</b>  |
| E               | 9,548                          | 4,4616                        | 5,0864                       | <b>46,73</b>  |
| SE              | 55,776                         | 11,183                        | 44,593                       | <b>20,05</b>  |
| SO              | 63,056                         | 14,374                        | 48,682                       | <b>22,80</b>  |

*Tabla 7. Porcentaje de huecos en fachadas*

- b) que el porcentaje de lucernarios sea inferior al 5% de la superficie total de la cubierta.

La vivienda no presenta ningún lucernario en toda la superficie de la cubierta por lo que también se cumple esta condición y la opción simplificada es aplicable al edificio objeto de estudio.

## 21 Cálculo de los parámetros característicos de la envolvente térmica

En esta sección se va a proceder con el cálculo de las transmitancias térmicas tanto de fachadas como de huecos y del factor solar modificado, necesario para determinar la demanda energética del edificio.

### 21.1 Transmitancias térmicas

Se define transmitancia térmica como la cantidad de energía que atraviesa, en la unidad de tiempo, una unidad de superficie de un elemento constructivo de caras plano-paralelas cuando entre dichas caras hay un gradiente térmico unidad. Se expresa como  $U$  y su unidad es el  $W/m^2K$ .

En las secciones siguientes se calcularán las transmitancias térmicas de los cerramientos en contacto con el aire exterior (fachadas y cubierta), cerramientos en contacto con el terreno (fachada parcial) y transmitancia de huecos (ventanas y puertas acristaladas). Tanto la transmitancia térmica de la cubierta como la de la fachada en contacto con el terreno se calcularán utilizando el mismo método utilizado para los muros de fachada en contacto con el exterior.

A continuación se detallará el método de cálculo.

La transmitancia térmica de un muro viene dada por la ecuación:

$$U = \frac{1}{R_T}$$

*Ecuación 4. Transmitancia térmica*

siendo:

$R_T$  la resistencia térmica total del componente constructivo [ $m^2K/W$ ].

La resistencia térmica total  $R_T$  de un componente constituido por capas térmicamente homogéneas se calcula mediante la expresión:

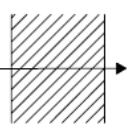
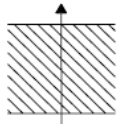
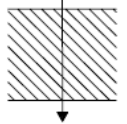
$$R_T = R_{si} + \sum_{i=1}^n R_i + R_{se}$$

*Ecuación 5. Resistencia térmica total*

siendo:

$R_i$  la resistencia térmica de cada capa definida según la ecuación 3 [ $\text{m}^2\text{K/W}$ ].

$R_{si}$  y  $R_{se}$  las resistencias térmicas superficiales correspondientes al aire interior y exterior respectivamente, tomadas de la tabla E.1 del CTE que se adjunta en este proyecto como tabla 7, en función de la posición del cerramiento, dirección del flujo de calor y su situación en el edificio [ $\text{m}^2\text{K/W}$ ].

| Posición del cerramiento y sentido del flujo de calor                                            |                                                                                     | Rse  | Rsi  |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|------|------|
| Cerramientos verticales o con pendiente sobre la horizontal $>60^\circ$ y flujo horizontal       |  | 0,04 | 0,13 |
| Cerramientos horizontales o con pendiente sobre la horizontal $\leq 60^\circ$ y flujo ascendente |  | 0,04 | 0,10 |
| Cerramientos horizontales y flujo descendente                                                    |  | 0,04 | 0,17 |

*Tabla 8. Resistencias térmicas superficiales de cerramientos en contacto con el aire exterior [ $\text{m}^2\text{K/W}$ ]*

*(Tabla E.1 del CTE)*

La resistencia térmica de una capa térmicamente homogénea viene definida por la expresión:

$$R = \frac{e}{\lambda}$$

*Ecuación 6. Resistencia térmica de una capa*

siendo:

$e$  el espesor de la capa [m].

$\lambda$  la conductividad térmica de diseño del material que compone la capa, calculada a partir de valores térmicos declarados según la norma UNE EN ISO 10456:2001 [W/mK].

### **21.1.1 Cerramientos en contacto con el aire exterior**

A continuación se calcularán los valores respectivos a los muros de fachada de la vivienda y a la cubierta de esta.

#### **21.1.1.1 Fachadas**

Se considerará como fachada para el cálculo a toda la superficie opaca de que consta cada muro en contacto con el aire exterior.

Los muros de fachada de la vivienda están diseñados con los siguientes espesores, desde el interior hacia el exterior:

- ◆ Trasdosado de Pladur a una cara con doble capa, de espesor 13 mm.
- ◆ Una capa de poliuretano proyectado de espesor 4 cm.
- ◆ Bloque cerámico o termoarcilla de espesor 19 cm.
- ◆ Mortero monocapa de espesor 15 mm.

Por lo tanto, el cálculo de la transmitancia térmica para los muros de fachadas quedaría:

| Exterior                                               | Espesor (m) | Conductividad (W/mK)        | Resistencia (m <sup>2</sup> K/W) |
|--------------------------------------------------------|-------------|-----------------------------|----------------------------------|
| Mortero monocapa                                       | 0,015       | 1,3                         | 0,01154                          |
| Bloque cerámico (termoarcilla)                         | 0,19        | 0,302                       | 0,62914                          |
| Poliuretano proyectado (densidad 35kg/m <sup>3</sup> ) | 0,04        | 0,028                       | 1,42857                          |
| Trasdosado de cartón yeso                              | 0,013       | 0,18                        | 0,07222                          |
| Interior                                               |             | $\Sigma R_i$                | <b>2,14147</b>                   |
| Espesor Total                                          | 0,258       | $R_{si}$                    | <b>0,13</b>                      |
|                                                        |             | $R_{se}$                    | <b>0,04</b>                      |
|                                                        |             | <b>U (W/m<sup>2</sup>K)</b> | <b>0,433</b>                     |

Tabla 9. Transmitancia térmica de muros de fachada

La transmitancia térmica de los muros de fachada de la vivienda tiene el valor de 0,433 W/m<sup>2</sup>K.

#### 21.1.1.2 Cubierta

Para el cálculo de la transmitancia térmica correspondiente a la cubierta de la vivienda se sigue el mismo procedimiento que para los muros de fachada; los materiales que componen la cubierta cambian ligeramente respecto a los muros así como la resistencia superficial interior. Desde el interior hacia el exterior:

- ♦ Trasdosado de Pladur a una cara con doble capa, de espesor 35 mm.
- ♦ Hormigón aligerado de pendiente de espesor 25 cm.



- ♦ Una capa de tela asfáltica para evitar la aparición de musgos, de espesor 5 mm.
- ♦ Poliuretano extruido de espesor 6 cm.
- ♦ Una capa exterior compuesta de grava con un espesor de 5cm.

Por lo tanto el cálculo de la transmitancia para la cubierta quedaría:

| Exterior                        | Espesor (m) | Conductividad (W/mK)        | Resistencia (m <sup>2</sup> K/W) |
|---------------------------------|-------------|-----------------------------|----------------------------------|
| Grava                           | 0,05        | 2                           | 0,02500                          |
| Poliuretano extruido            | 0,06        | 0,027                       | 2,22222                          |
| Tela asfáltica                  | 0,005       | 0,7                         | 0,00714                          |
| Hormigón aligerado de pendiente | 0,25        | 0,301                       | 0,83056                          |
| Trasdosado de cartón yeso       | 0,035       | 0,18                        | 0,19444                          |
| Interior                        |             | $\Sigma R_i$                | <b>3,27937</b>                   |
| Espesor Total                   | 0,4         | $R_{si}$                    | <b>0,1</b>                       |
|                                 |             | $R_{se}$                    | <b>0,04</b>                      |
|                                 |             | <b>U (W/m<sup>2</sup>K)</b> | <b>0,292</b>                     |

Tabla 10. Transmitancia térmica de cubierta

La transmitancia térmica de la cubierta es 0,292 W/m<sup>2</sup>K.

### 21.1.2 Huecos

Para calcular la transmitancia de los huecos de la vivienda es necesario aplicar la siguiente expresión:

$$U_H = (1 - FM) \cdot U_{H,v} + FM \cdot U_{H,m}$$

Ecuación 7. Fórmula de la transmitancia térmica en huecos

siendo:

$U_{H,v}$  la transmitancia térmica de la parte semitransparente [ $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ ].

$U_{H,m}$  la transmitancia térmica del marco de la ventana o puerta [ $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ ].

$FM$  la fracción del hueco ocupada por el marco.

En la vivienda objeto de estudio de este proyecto todas las ventanas y puertas acristaladas están compuestas por doble capa de vidrio de la forma 4/12/6 (referido a los espesores de vidrio-cámara-vidrio), de tipo normal, y en posición vertical, por lo que  $U_{H,v} = 2,8 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$ .

Los marcos de las ventanas y puertas acristaladas son de aluminio y con rotura de puente térmico entre 4 y 12 mm, por lo que  $U_{H,m} = 4 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$ .

Los valores de las transmitancias térmicas han sido extraídos de tablas de conductividad de materiales extraídas de las bases de datos del LIDER (versión 1.0), documento reconocido del CTE.

Los valores de las transmitancias para cada uno de los huecos se adjuntan en forma de tabla a continuación. La nomenclatura es la correspondiente a la establecida por el arquitecto pudiéndose consultar en el plano denominado *Carpinterías*. Se han clasificado los huecos por planta (baja o alta) y por orientación puesto que más adelante, en la sección 9.1.5, a la hora de comprobar con los valores límite para cada una de las orientaciones, será más sencillo hacerlo.

| TRANSMITANCIAS EN CARPINTERÍAS |         |             |                              |                              |        |                                     |
|--------------------------------|---------|-------------|------------------------------|------------------------------|--------|-------------------------------------|
| Nombre                         |         | Orientación | Área Hueco (m <sup>2</sup> ) | Área Marco (m <sup>2</sup> ) | FM     | U <sub>H</sub> (W/m <sup>2</sup> K) |
| PLANTA ALTA                    | V1      | SO          | 7,0500                       | 0,8952                       | 0,1270 | 2,952                               |
|                                | V2      | N           | 13,4640                      | 0,7440                       | 0,0553 | 2,866                               |
|                                | V3      | N           | 7,1060                       | 0,5128                       | 0,0722 | 2,887                               |
|                                | V4      | SE          | 2,6650                       | 0,2616                       | 0,0982 | 2,918                               |
|                                | V5      | SE          | 4,7300                       | 0,4264                       | 0,0901 | 2,908                               |
|                                | P1      | SO          | 3,3000                       |                              |        | 1,969                               |
| PLANTA BAJA                    | V6      | SE          | 3,7880                       | 0,5776                       | 0,1525 | 2,983                               |
|                                | V7      | N           | 3,2736                       | 1,0168                       | 0,3106 | 3,173                               |
|                                | V8 (x2) | N           | 3,4980                       | 1,0304                       | 0,2946 | 3,153                               |
|                                | V9      | E           | 4,4616                       | 1,3236                       | 0,2967 | 3,156                               |
|                                | V10     | N           | 1,2800                       | 0,2720                       | 0,2125 | 3,055                               |
|                                | V11     | SO          | 2,3100                       | 0,3632                       | 0,1572 | 2,989                               |
|                                | V12     | SO          | 1,8900                       | 0,3152                       | 0,1668 | 3,000                               |

Tabla 11. Transmitancias térmicas en huecos

La transmitancia térmica de la puerta de acceso principal (P1) se calcula como si se tratase de un muro con un espesor de 1 cm de acero y 2 cm de madera a ambos lados.

### 21.1.3 Cerramientos en contacto con el terreno

La transmitancia térmica  $U_T$  [ $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ ] de muros en contacto con el terreno se obtendrá de la tabla E.5 del CTE en función de su profundidad  $z$ , y de la resistencia térmica del muro  $R_m$  calculada mediante la ecuación 2 sin tener en cuenta las resistencias térmicas superficiales.

En la siguiente tabla se realiza el cálculo de la suma de resistencias y con ese valor y el de la profundidad de muro enterrado se consigue el valor de la transmitancia interpolando entre los valores de la tabla E.5 del CTE que se incluye a continuación.

| Terreno                                                | Espesor (m) | Conductividad (W/mK) | Resistencia ( $\text{m}^2\text{K/W}$ ) |
|--------------------------------------------------------|-------------|----------------------|----------------------------------------|
| Mortero monocapa                                       | 0,015       | 1,3                  | 0,01154                                |
| Bloque cerámico (termoarcilla)                         | 0,19        | 0,302                | 0,62914                                |
| Poliuretano proyectado (densidad 35kg/m <sup>3</sup> ) | 0,04        | 0,028                | 1,42857                                |
| Trasdosado de cartón yeso                              | 0,013       | 0,18                 | 0,07222                                |
| Interior                                               |             | $\Sigma R_i$         | 2,14147                                |
| Espesor Total                                          | 0,258       | Longitud enterrada   | 1,1                                    |
| <b>U (<math>\text{W}/\text{m}^2\text{K}</math>)</b>    |             |                      | <b>0,386</b>                           |

Tabla 12. Transmitancia térmica de muros en contacto con el terreno

| $R_m$ ( $\text{m}^2 \text{K/W}$ ) | Profundidad $z$ de la parte enterrada del muro (m) |      |      |      |      |          |
|-----------------------------------|----------------------------------------------------|------|------|------|------|----------|
|                                   | 0,5                                                | 1    | 2    | 3    | 4    | $\geq 6$ |
| 0,00                              | 3,05                                               | 2,20 | 1,48 | 1,15 | 0,95 | 0,71     |
| 0,50                              | 1,17                                               | 0,99 | 0,77 | 0,64 | 0,55 | 0,44     |
| 1,00                              | 0,74                                               | 0,65 | 0,54 | 0,47 | 0,42 | 0,34     |
| 1,50                              | 0,54                                               | 0,49 | 0,42 | 0,37 | 0,34 | 0,28     |
| 2,00                              | 0,42                                               | 0,39 | 0,35 | 0,31 | 0,28 | 0,24     |

Tabla 13. Transmitancia térmica de muros enterrados (Tabla E.5 del CTE)

#### 21.1.4 Puentes térmicos

Se consideran puentes térmicos las zonas de la envolvente del edificio en las que se evidencia una variación de la uniformidad de la construcción, ya sea por un cambio del espesor del cerramiento, de los materiales empleados, por penetración de elementos constructivos con diferente conductividad, etc., esto conlleva necesariamente una minoración de la resistencia térmica respecto al resto de cerramientos. Los puentes térmicos son partes sensibles de los edificios donde aumenta la posibilidad de producción de condensaciones superficiales, en temporada de invierno o épocas frías. Por ello es necesario incluir este factor a la hora de calcular la demanda energética.

En el presente proyecto se van a tener en cuenta dos tipos de puentes térmicos integrados en los cerramientos: los pilares integrados en los cerramientos de las fachadas y las cajas de persianas.

Cumpliendo lo que dice el apartado E.1.1 del CTE deberán ser calculados los puentes térmicos integrados cuya superficie sea superior a  $0,5 \text{ m}^2$  para poder despreciar los efectos multidimensionales del flujo de calor.

Para el cálculo de los puentes térmicos correspondientes a los pilares de fachada el CTE indica que se debe proceder como si se tratasen de muros de fachada. Su cálculo quedaría:

| Exterior                                               | Espesor (m) | Conductividad (W/mK)        | Resistencia (m <sup>2</sup> K/W) |
|--------------------------------------------------------|-------------|-----------------------------|----------------------------------|
| Mortero monocapa                                       | 0,015       | 1,3                         | 0,01154                          |
| Bloque cerámico (termoarcilla)                         | 0,19        | 0,302                       | 0,62914                          |
| Hormigón Armado                                        | 0,25        | 2,5                         | 0,10000                          |
| Poliuretano proyectado (densidad 35kg/m <sup>3</sup> ) | 0,04        | 0,028                       | 1,42857                          |
| Trasdosado de cartón yeso                              | 0,013       | 0,18                        | 0,07222                          |
| Interior                                               |             | $\Sigma R_i$                | <b>2,24147</b>                   |
| Espesor Total                                          | 0,508       | $R_{si}$                    | <b>0,13</b>                      |
|                                                        |             | $R_{se}$                    | <b>0,04</b>                      |
|                                                        |             | <b>U (W/m<sup>2</sup>K)</b> | <b>0,415</b>                     |

Tabla 14. Transmitancia térmica de pilares de fachada

El cálculo de las transmitancias térmicas en las cajas de persianas se realiza considerando éstas como cámaras de aire medianamente ventiladas; por lo tanto, se toma de la tabla E.2 del CTE, el valor correspondiente a una cámara de aire de espesor 5 cm y como se trata de una cámara de aire medianamente ventilada se coge la mitad del valor que indica la tabla, por lo que queda:  $U_{PF2} = 0,09 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

A modo de resumen y para facilitar los cálculos se adjunta esta tabla con los puentes térmicos a tener en cuenta en función de su orientación. Las cajas de persianas sólo se tendrán en cuenta en las ventanas de las habitaciones ya que son las únicas que disponen de persianas.

| Nombre             |                        | Orientación | Área (m <sup>2</sup> ) | U <sub>PF3</sub> (W/m <sup>2</sup> K) |
|--------------------|------------------------|-------------|------------------------|---------------------------------------|
| PILARES EN FACHADA | P1                     | N / SO      | 1,75                   | <b>0,415</b>                          |
|                    | P2                     | N           | 1,75                   | <b>0,415</b>                          |
|                    | P3                     | N           | 1,75                   | <b>0,415</b>                          |
|                    | P4                     | N           | 2,21                   | <b>0,415</b>                          |
|                    | P5                     | SO          | 1,75                   | <b>0,415</b>                          |
|                    | P9                     | SE / SO     | 1,75                   | <b>0,415</b>                          |
|                    | P10                    | SE          | 1,75                   | <b>0,415</b>                          |
|                    | P11 (sólo planta alta) | N / SE      | 1                      | <b>0,415</b>                          |
| CAJAS DE PERSIANAS | V9                     | E           | 0,402                  | <b>0,09</b>                           |
|                    | V7                     | N           | 0,297                  | <b>0,09</b>                           |
|                    | V8 (x2)                | N           | 0,3225                 | <b>0,09</b>                           |

Tabla 15. Transmitancias térmicas en puentes térmicos

### 21.1.5 Comprobación con los valores máximos permitidos

Para evitar descompensaciones entre la calidad térmica de diferentes espacios, el CTE obliga a que cada uno de los cerramientos y particiones interiores de la envolvente térmica tenga una transmitancia no superior a los valores indicados en la tabla 2.1 de dicho código en función de la zona climática en la que se ubique el edificio (en el caso de este proyecto zona B).

Para muros de fachada y muros en contacto con el terreno el CTE limita el valor a 1,07 W/m<sup>2</sup>K. Los muros de fachada de la vivienda tienen una transmitancia de 0,433 W/m<sup>2</sup>K y los muros en contacto con el terreno de 0,3586 W/m<sup>2</sup>K, por lo que cumplen la norma.

Las cubiertas no pueden tener una transmitancia superior a  $0,59 \text{ W/m}^2\text{K}$  según el CTE; como la cubierta de la vivienda tiene un valor de  $0,292 \text{ W/m}^2\text{K}$  también cumple esta limitación.

Por último, el CTE limita las transmitancias de vidrios y marcos en  $5,7 \text{ W/m}^2\text{K}$ . La transmitancia de los marcos utilizados en la construcción de la vivienda objeto de estudio de este proyecto es de  $4 \text{ W/m}^2\text{K}$  y la del vidrio es de  $2,8 \text{ W/m}^2\text{K}$ , por lo que también se cumple esa condición.

| Cerramientos y particiones interiores                                                                                                                                                                            | Zonas<br>A | Zonas<br>B | Zonas<br>C | Zonas<br>D | Zonas<br>E |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Muros de fachada, particiones interiores en contacto con espacios no habitables, primer metro del perímetro de suelos apoyado sobre el terreno <sup>(1)</sup> y primer metro de muros en contacto con el terreno | 1,22       | 1,07       | 0,95       | 0,86       | 0,74       |
| Suelos                                                                                                                                                                                                           | 0,69       | 0,68       | 0,65       | 0,64       | 0,62       |
| Cubiertas                                                                                                                                                                                                        | 0,65       | 0,59       | 0,53       | 0,49       | 0,46       |
| Vidrios y marcos <sup>(2)</sup>                                                                                                                                                                                  | 5,70       | 5,70       | 4,40       | 3,50       | 3,10       |
| Medianerías                                                                                                                                                                                                      | 1,22       | 1,07       | 1,00       | 1,00       | 1,00       |

<sup>(1)</sup> Se incluyen las losas o soleras enterradas a una profundidad no mayor de 0,5 m.

<sup>(2)</sup> Las transmitancias térmicas de vidrios y marcos se compararán por separado

Tabla 16. Transmitancia térmica máxima de cerramientos y particiones interiores de la envolvente térmica

$U$  en  $\text{W/m}^2\text{K}$ . (Tabla 2.1 del CTE).

## 21.2 Factor solar modificado

El factor solar modificado es el producto del factor solar por el factor de sombra.

El factor solar es el cociente entre la radiación solar a incidencia normal que se introduce en el edificio a través del acristalamiento y la que se introduciría si el acristalamiento se sustituyese por un hueco perfectamente transparente.



El factor de sombra es la fracción de la radiación incidente en un hueco que no es bloqueada por la presencia de obstáculos de fachada tales como retranqueos, voladizos, toldos, salientes laterales u otros.

Se calcula mediante la expresión:

$$F = F_s \cdot [(1 - FM) \cdot g_{\perp} + FM \cdot 0,04 \cdot U_m \cdot \alpha]$$

*Ecuación 8. Factor solar modificado*

siendo:

$F_s$  el factor de sombra del hueco o lucernario obtenido de las tablas E.11 a E.15 del CTE en función del dispositivo de sombra o mediante simulación. Si no se justifica adecuadamente se debe considerar igual a la unidad.

$FM$  la fracción del hueco ocupada por el marco en el caso de ventanas o la fracción de parte maciza en el caso de puertas.

$g_{\perp}$  el factor solar de la parte semitransparente del hueco a incidencia normal.

$U_m$  la transmitancia térmica del marco del hueco [ $\text{W/m}^2\text{K}$ ].

$\alpha$  la absorptividad del marco obtenida de la tabla E.10 del CTE en función de su color.

El valor de  $g_{\perp}$  correspondiente al tipo de vidrio utilizado en las ventanas y puertas acristaladas de la vivienda objeto de estudio de este proyecto (4/12/6) es de 0,75, extraído de las bases de datos del LIDER (versión 1.0), documento reconocido del CTE.

Para  $U_m$  se tomará el valor de  $4 \text{ W/m}^2\text{K}$  como se utilizó en la sección 9.1.2 al calcular las transmitancias térmicas de los huecos.

El  $FM$  variará con cada hueco que se calcule como se pudo ver en la sección 9.1.2 en el cálculo de las transmitancias térmicas de los huecos.

El valor de  $\alpha$  se toma de 0,7 ya que los marcos son de un color claro.

No se adjuntarán las tablas del CTE para el cálculo de  $F_s$  por ser muy amplias; en la tabla que se muestra a continuación vienen calculados los factores solares modificados de todas las carpinterías que disponen de algún dispositivo de sombra en función de sus factores de sombra.

Se debe señalar que para los huecos con orientación al norte no se calcula el factor solar modificado por norma.

| Nombre | Orientación | Tipo       | Medidas (m)              | $F_s$ | $FM$   | <b>F</b>     |
|--------|-------------|------------|--------------------------|-------|--------|--------------|
| V9     | E           | Voladizo   | D=0,38   H=1,32   L=2,03 | 0,7   | 0,2967 | <b>0,393</b> |
| V6     | SE          | Retranqueo | H=2,2   R=0,05   W=1,75  | 1     | 0,1525 | <b>0,653</b> |
| V11    | SO          | Retranqueo | H=0,7   R=0,1   W=3,3    | 1     | 0,1572 | <b>0,650</b> |
| V12    | SO          | Retranqueo | H=0,7   R=0,1   W=2,7    | 1     | 0,1668 | <b>0,644</b> |

*Tabla 17. Factor solar modificado planta baja*

| Nombre | Orientación | Tipo                  | Medidas (m)             | F <sub>s</sub> | FM     | F            |
|--------|-------------|-----------------------|-------------------------|----------------|--------|--------------|
| V4     | SE          | Voladizo <sup>2</sup> | D=0,4   H=1,3   L=0,6   | 0,94           | 0,0982 | <b>0,646</b> |
| V5     | SE          | Voladizo <sup>1</sup> | D=0,4   H=2,2   L=0,6   | 0,9            | 0,0901 | <b>0,623</b> |
| V1     | SO          | Retranqueo            | H=1   R=0,1   W=7,05    | 1              | 0,1270 | <b>0,669</b> |
| P1     | SO          | Retranqueo            | H=2,2   R=0,75   W=1,65 | 0,47           | 0,0705 | <b>0,002</b> |

*Tabla 18. Factor solar modificado planta alta*

Los valores del factor de sombra en las carpinterías V6, V11, V12 y V1 se han considerado la unidad ya que resultaba fuera del rango de las tablas E.11 a E.15 del CTE.

A la vista del resultado del factor solar para la puerta de acceso P1, en posteriores cálculos, como en el de los parámetros característicos medios, se despreciará por ser mucho menor que el resto de factores.

---

<sup>2</sup> Las carpinterías V4 y V5 tienen un voladizo consistente en una serie de vigas, al no ocultar el sol como si fuese macizo, se ha considerado como macizo pero de longitud la mitad de la real.

## 22 Comprobación de la limitación de la demanda energética mediante los parámetros característicos medios

De acuerdo con el CTE, después de calcular los parámetros característicos de los cerramientos y particiones interiores como se ha explicado en la sección anterior, hay que determinar para cada categoría la media de los parámetros característicos  $U$  y  $F$ . Para ello se ponderarán los parámetros correspondientes a cada cerramiento según su fracción de área en relación con el área total de la categoría a la que pertenece como expresan las ecuaciones de la tabla 3.1 del CTE «Síntesis del procedimiento de comparación con los valores límite». Los valores medios calculados tendrán que ser inferiores a los valores límite de la tabla 2.2 del CTE para cada zona climática.

### ZONA CLIMÁTICA B3

Transmitancia límite de muros de fachada y cerramientos en contacto con el terreno

$U_{\text{Mlim}}: 0,82 \text{ W/m}^2\text{K}$

Transmitancia límite de suelos

$U_{\text{Slim}}: 0,52 \text{ W/m}^2\text{K}$

Transmitancia límite de cubiertas

$U_{\text{Clim}}: 0,45 \text{ W/m}^2\text{K}$

Factor solar modificado límite de lucernarios

$F_{\text{Lim}}: 0,30$

| % de huecos | Transmitancia límite de huecos <sup>(1)</sup> $U_{\text{Hlim}}$ W/m <sup>2</sup> K |           |           |           | Factor solar modificado límite de huecos $F_{\text{Hlim}}$ |   |       |                    |      |       |
|-------------|------------------------------------------------------------------------------------|-----------|-----------|-----------|------------------------------------------------------------|---|-------|--------------------|------|-------|
|             |                                                                                    |           |           |           | Baja carga interna                                         |   |       | Alta carga interna |      |       |
|             | N                                                                                  | E/O       | S         | SE/SO     | E/O                                                        | S | SE/SO | E/O                | S    | SE/SO |
| de 0 a 10   | 5,4 (5,7)                                                                          | 5,7       | 5,7       | 5,7       | -                                                          | - | -     | -                  | -    | -     |
| de 11 a 20  | 3,8 (4,7)                                                                          | 4,9 (5,7) | 5,7       | 5,7       | -                                                          | - | -     | -                  | -    | -     |
| de 21 a 30  | 3,3 (3,8)                                                                          | 4,3 (4,7) | 5,7       | 5,7       | -                                                          | - | -     | 0,57               | -    | -     |
| de 31 a 40  | 3,0 (3,3)                                                                          | 4,0 (4,2) | 5,6 (5,7) | 5,6 (5,7) | -                                                          | - | -     | 0,45               | -    | 0,50  |
| de 41 a 50  | 2,8 (3,0)                                                                          | 3,7 (3,9) | 5,4 (5,5) | 5,4 (5,5) | 0,53                                                       | - | 0,59  | 0,38               | 0,57 | 0,43  |
| de 51 a 60  | 2,7 (2,8)                                                                          | 3,6 (3,7) | 5,2 (5,3) | 5,2 (5,3) | 0,46                                                       | - | 0,52  | 0,33               | 0,51 | 0,38  |

Tabla 19. Valores límite de los parámetros característicos medios para la zona B3 (Tabla 2.2 del CTE)

Para el cálculo de los parámetros característicos medios se emplearán las expresiones de la tabla 3.1 del CTE aplicadas a las particularidades de la vivienda estudiada:

- Para muros de fachada:

$$U_{Mm} = \frac{\sum A_M \cdot U_M + \sum A_{PF} \cdot U_{PF}}{\sum A_M + \sum A_{PF}}$$

*Ecuación 9. Parámetro característico medio de la transmitancia para muros de fachada*

siendo:

$A_M$  y  $U_M$  el área de cada muro y su transmitancia térmica, respectivamente.

$A_{PF}$  y  $U_{PF}$  el área de cada puente térmico y su transmitancia térmica, respectivamente.

- Para muros en contacto con el terreno:

$$U_{Tm} = \frac{\sum A_T \cdot U_T}{\sum A_T}$$

*Ecuación 10. Parámetro característico medio de la transmitancia para muros en contacto con el terreno*

siendo:

$A_T$  y  $U_T$  el área de la parte de muro enterrada y su transmitancia térmica, respectivamente.

- Para los huecos:

$$U_{Hm} = \frac{\sum A_H \cdot U_H}{\sum A_H}$$

*Ecuación 11. Parámetro característico medio de la transmitancia para huecos*

siendo:

$A_H$  y  $U_H$  el área y la transmitancia térmica de cada hueco, respectivamente.

$$F_{Hm} = \frac{\sum A_H \cdot F_H}{\sum A_H}$$

*Ecuación 12. Parámetro característico medio del factor solar modificado para huecos*

siendo:

$A_H$  y  $F_H$  el área y el factor solar modificado de cada hueco, respectivamente.

- Para la cubierta:

$$U_{Cm} = \frac{\sum A_C \cdot U_C}{\sum A_C}$$

*Ecuación 13. Parámetro característico medio de la transmitancia para cubierta*

siendo:

$A_C$  y  $U_C$  el área y la transmitancia térmica de cada parte formante de la cubierta, respectivamente.

Una vez realizados los cálculos correspondientes empleando las fórmulas antes expuestas, los valores característicos medios se presentan en forma de tabla a continuación observándose que todos ellos están por debajo del valor límite:

| COMPROBACIÓN DE PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS MEDIOS |                  |                                   |          |      |                |
|---------------------------------------------------|------------------|-----------------------------------|----------|------|----------------|
| Cerramientos y Particiones Interiores             |                  | Parámetros Característicos Medios |          |      |                |
| Categoría                                         | Orientación      | P.C.M.                            | Proyecto | Max  | Proyecto < Max |
| Muros                                             | Norte            | $U_{Mm}$                          | 0,43     | 0,82 | Si             |
|                                                   | Este             |                                   | 0,41     |      | Si             |
|                                                   | Sur Este         |                                   | 0,43     |      | Si             |
|                                                   | Sur Oeste        |                                   | 0,43     |      | Si             |
|                                                   | Contacto Terreno | $U_{Tm}$                          | 0,36     |      | Si             |
| Huecos                                            | Norte            | $U_{Hm}$                          | 2,97     | 3,3  | Si             |
|                                                   | Este             | $U_{Hm}$                          | 3,16     | 3,7  | Si             |
|                                                   |                  | $F_{Hm}$                          | 0,41     | 0,53 | Si             |
|                                                   | Sur Este         | $U_{Hm}$                          | 2,94     | 5,7  | Si             |
|                                                   |                  | $F_{Hm}$                          | 0,56     | -    | -              |
|                                                   | Sur Oeste        | $U_{Hm}$                          | 2,75     | 5,7  | Si             |
|                                                   |                  | $F_{Hm}$                          | 0,66     | -    | -              |
| Cubierta                                          | -                | $U_{Cm}$                          | 0,29     | 0,45 | Si             |

Tabla 20. Parámetros característicos medios

## 23 Pérdidas por renovación de aire o infiltración de aire exterior

Para permitir el confort dentro de la vivienda y que la calidad del aire en el interior sea óptima es necesario renovar periódicamente el aire de cada habitación o recinto. En el caso de la vivienda unifamiliar sobre la que trata el presente proyecto se aplicarán los valores de 1 renovación horaria para habitaciones, sala de estar y cocina, y 0,75 renovaciones horarias para el salón-comedor, puesto que es lo establecido para recintos de más de 100 m<sup>3</sup>.

Debido a las renovaciones de aire, parte del calor/frío se perderá por lo que es necesario tener en cuenta estas pérdidas antes de calcular la demanda energética total de la vivienda y así de esta forma aportar algo más de frío/calor para que esas pérdidas no afecten al confort térmico del interior de la vivienda. Para calcular estas pérdidas se aplica la expresión:

$$P_R = V \cdot c_e \cdot \rho \cdot \Delta T \cdot N$$

*Ecuación 14. Pérdidas por renovación de aire*

siendo:

$V$  el volumen del recinto o habitación [m<sup>3</sup>].

$c_e$  el calor específico del aire [1012 J/kg °C].

$\rho$  la densidad del aire [1,185 kg/m<sup>3</sup>].

$\Delta T$  la diferencia de temperatura entre el interior y el exterior [°C].

$N$  el número de renovaciones/hora.



Como se explicó en el apartado 2 «condiciones climáticas exteriores», se tomará como temperatura de referencia exterior mínima para la temporada de calefacción 4,5 °C, y como temperatura de referencia exterior máxima para la temperatura de refrigeración 33 °C.

En esta tabla se muestran los valores calculados de pérdidas por renovaciones de aire máximas para condiciones de invierno como de verano en cada habitación de la vivienda que se quiere climatizar.

| PÉRDIDAS POR RENOVACIÓN |                              |                                |                       |                              |                  |
|-------------------------|------------------------------|--------------------------------|-----------------------|------------------------------|------------------|
|                         | Volumen<br>(m <sup>3</sup> ) | $\Delta T$<br>Invierno<br>(°C) | Pr<br>Invierno<br>(W) | $\Delta T$<br>Verano<br>(°C) | Pr Verano<br>(W) |
| Dormitorio Principal    | 40,17                        | 17,5                           | <b>234,17</b>         | 10                           | <b>133,81</b>    |
| Dormitorio 2            | 33,02                        | 17,5                           | <b>192,49</b>         | 10                           | <b>110,00</b>    |
| Dormitorio 3            | 29,562                       | 17,5                           | <b>172,33</b>         | 10                           | <b>98,48</b>     |
| Dormitorio 4            | 37,675                       | 17,5                           | <b>219,63</b>         | 10                           | <b>125,50</b>    |
| Sala de Estar           | 46,826                       | 17,5                           | <b>272,97</b>         | 10                           | <b>155,99</b>    |
| Salón                   | 237,8                        | 17,5                           | <b>1039,70</b>        | 10                           | <b>594,11</b>    |
| Cocina                  | 51,948                       | 15,5                           | <b>268,22</b>         | 12                           | <b>207,66</b>    |

Tabla 21. Pérdidas por renovación de aire

## 24 Cargas térmicas máximas

Para analizar la cantidad de potencia calorífica o frigorífica que necesita la vivienda se debe realizar un cálculo sumatorio de todas las potencias perdidas, bien por transmisión de calor mediante los muros o huecos, bien debido a las renovaciones de aire.

La cantidad de potencia calorífica/frigorífica que se pierde a través de un muro o cubierta se calcula mediante el producto del área del muro/cubierta, de su transmitancia térmica y de la diferencia de temperaturas entre el interior y el exterior:

$$P = A \cdot U \cdot \Delta T$$

*Ecuación 15. Potencia perdida en muro/cubierta*

Para obtener un valor más exacto de las pérdidas térmicas debemos tener en cuenta los coeficientes de orientación ya que cada muro se orienta hacia puntos cardinales distintos con coeficientes diferentes y el coeficiente de intermitencia del 15% debido a los periodos de arranque del sistema de refrigeración puesto que no debe considerarse si se pretende utilizar un sistema de calefacción por suelo radiante ya que este se supone que no sufre paradas. Estos coeficientes ya se indicaron en los apartados 4 y 5. Por lo tanto la expresión queda:

$$P = A \cdot U \cdot \Delta T \cdot C_o \cdot C_I$$

*Ecuación 16. Potencia perdida en muro/cubierta con coeficientes*

siendo:

$C_o$  coeficiente de orientación.

$C_I$  coeficiente de intermitencia.

---

Los valores de cargas térmicas máximas necesarias para los regímenes de invierno y verano se calculan en forma de tabla, habitación por habitación y realizando un sumatorio total al final.

| Dormitorio Principal |                 | INVIERNO (calefacción) |           |      |      |             |
|----------------------|-----------------|------------------------|-----------|------|------|-------------|
|                      | Superficie (m²) | ΔT (°C)                | U (W/m²K) | Co   | Ci   | Parcial (W) |
| Muro N               | 15,7560         | 17,5                   | 0,4299    | 1,15 | 1    | 136,32      |
| Muro E               | 4,4044          | 17,5                   | 0,4079    | 1,1  | 1    | 34,58       |
| Ventana V9           | 4,4616          | 17,5                   | 3,156     | 1,1  | 1    | 271,06      |
| Techo (Terraza)      | 13,3743         | 17,5                   | 0,289     | 1    | 1    | 67,64       |
| Pérdidas Renovación  |                 |                        |           |      |      | 234,17      |
| TOTAL                |                 |                        |           |      |      | 743,8 W     |
|                      |                 |                        |           |      |      |             |
| Dormitorio Principal |                 | VERANO (refrigeración) |           |      |      |             |
|                      | Superficie (m²) | ΔT (°C)                | U (W/m²K) | Co   | Ci   | Parcial (W) |
| Muro N               | 15,756          | 10                     | 0,4299    | 1,15 | 1,15 | 89,58       |
| Muro E               | 4,4044          | 10                     | 0,4079    | 1,1  | 1,15 | 22,73       |
| Ventana V9           | 4,4616          | 10                     | 3,156     | 1,1  | 1,15 | 178,12      |
| Techo (Terraza)      | 13,3743         | 10                     | 0,289     | 1    | 1    | 38,65       |
| Pérdidas Renovación  |                 |                        |           |      |      | 133,81      |
| TOTAL                |                 |                        |           |      |      | 462,9 W     |

| Dormitorio 2        |                              |         | INVIERNO (calefacción) |      |    |             |
|---------------------|------------------------------|---------|------------------------|------|----|-------------|
|                     | Superficie (m <sup>2</sup> ) | ΔT (°C) | U (W/m <sup>2</sup> K) | Co   | Ci | Parcial (W) |
| Muro N              | 3,132                        | 17,5    | 0,4299                 | 1,15 | 1  | 27,10       |
| Ventana V8          | 3,498                        | 17,5    | 2,972                  | 1,15 | 1  | 209,22      |
| Techo (Terraza)     | 8,568                        | 17,5    | 0,289                  | 1    | 1  | 43,33       |
| Pérdidas Renovación |                              |         |                        |      |    | 192,49      |
| TOTAL               |                              |         |                        |      |    | 472,1 W     |
|                     |                              |         |                        |      |    |             |
| Dormitorio 2        |                              |         | VERANO (refrigeración) |      |    |             |

|                     | Superficie<br>(m <sup>2</sup> ) | ΔT (°C) | U<br>(W/m <sup>2</sup> K) | Co   | Ci   | Parcial (W) |
|---------------------|---------------------------------|---------|---------------------------|------|------|-------------|
| Muro N              | 3,132                           | 10      | 0,4299                    | 1,15 | 1,15 | 17,81       |
| Ventana V8          | 3,498                           | 10      | 2,972                     | 1,15 | 1,15 | 137,49      |
| Techo (Terraza)     | 8,568                           | 10      | 0,289                     | 1    | 1    | 24,76       |
| Pérdidas Renovación |                                 |         |                           |      |      | 110,00      |
| TOTAL               |                                 |         |                           |      |      | 290,1 W     |

| Dormitorio 3        |                 |         | INVIERNO (calefacción) |      |      |             |
|---------------------|-----------------|---------|------------------------|------|------|-------------|
|                     | Superficie (m²) | ΔT (°C) | U (W/m²K)              | Co   | Ci   | Parcial (W) |
| Muro N              | 3,132           | 17,5    | 0,4299                 | 1,15 | 1    | 27,10       |
| Ventana V8          | 3,498           | 17,5    | 2,972                  | 1,15 | 1    | 209,22      |
| Techo (Terraza)     | 8,568           | 17,5    | 0,289                  | 1    | 1    | 43,33       |
| Pérdidas Renovación |                 |         |                        |      |      | 172,33      |
| TOTAL               |                 |         |                        |      |      | 452,0 W     |
|                     |                 |         |                        |      |      |             |
| Dormitorio 3        |                 |         | VERANO (refrigeración) |      |      |             |
|                     | Superficie (m²) | ΔT (°C) | U (W/m²K)              | Co   | Ci   | Parcial (W) |
| Muro N              | 3,132           | 10      | 0,4299                 | 1,15 | 1,15 | 17,81       |
| Ventana V8          | 3,498           | 10      | 2,972                  | 1,15 | 1,15 | 137,49      |
| Techo (Terraza)     | 8,568           | 10      | 0,289                  | 1    | 1    | 24,76       |
| Pérdidas Renovación |                 |         |                        |      |      | 98,48       |
| TOTAL               |                 |         |                        |      |      | 278,5 W     |

| Dormitorio 4 |                              | INVIERNO (calefacción) |                        |      |    |             |
|--------------|------------------------------|------------------------|------------------------|------|----|-------------|
|              | Superficie (m <sup>2</sup> ) | $\Delta T$ (°C)        | U (W/m <sup>2</sup> K) | Co   | Ci | Parcial (W) |
| Muro N       | 4,3164                       | 17,5                   | 0,4299                 | 1,15 | 1  | 37,34       |
| Muro SE      | 20,46                        | 17,5                   | 0,4313                 | 1,15 | 1  | 177,59      |
| Ventana V7   | 3,2736                       | 17,5                   | 3,1727                 | 1,15 | 1  | 209,02      |

|                     |                 |         |                        |      |      |             |
|---------------------|-----------------|---------|------------------------|------|------|-------------|
| Techo (Terraza)     | 9,2736          | 17,5    | 0,289                  | 1    | 1    | 46,90       |
| Pérdidas Renovación |                 |         |                        |      |      | 219,63      |
| TOTAL               |                 |         |                        |      |      | 690,5 W     |
|                     |                 |         |                        |      |      |             |
| Dormitorio 4        |                 |         | VERANO (refrigeración) |      |      |             |
|                     | Superficie (m²) | ΔT (°C) | U (W/m²K)              | Co   | Ci   | Parcial (W) |
| Muro N              | 4,3164          | 10      | 0,4299                 | 1,15 | 1,15 | 24,54       |
| Muro SE             | 20,46           | 10      | 0,4313                 | 1,15 | 1,15 | 116,70      |
| Ventana V7          | 3,2736          | 10      | 3,1727                 | 1,15 | 1,15 | 137,36      |
| Techo (Terraza)     | 9,2736          | 10      | 0,289                  | 1    | 1    | 26,80       |
| Pérdidas Renovación |                 |         |                        |      |      | 125,50      |
| TOTAL               |                 |         |                        |      |      | 430,9 W     |

| Sala de Estar       |                 |         | INVIERNO (calefacción) |      |      |             |
|---------------------|-----------------|---------|------------------------|------|------|-------------|
|                     | Superficie (m²) | ΔT (°C) | U (W/m²K)              | Co   | Ci   | Parcial (W) |
| Muro SE             | 8,718           | 17,5    | 0,4313                 | 1,1  | 1    | 72,38       |
| Muro SO             | 10,222          | 17,5    | 0,4312                 | 1,05 | 1    | 80,99       |
| Ventana V6          | 3,788           | 17,5    | 2,983                  | 1,1  | 1    | 217,52      |
| Ventana V11         | 2,31            | 17,5    | 2,9887                 | 1,05 | 1    | 126,86      |
| Pérdidas Renovación |                 |         |                        |      |      | 272,97      |
| TOTAL               |                 |         |                        |      |      | 770,7 W     |
|                     |                 |         |                        |      |      |             |
| Sala de Estar       |                 |         | VERANO (refrigeración) |      |      |             |
|                     | Superficie (m²) | ΔT (°C) | U (W/m²K)              | Co   | Ci   | Parcial (W) |
| Muro SE             | 8,718           | 10      | 0,4313                 | 1,1  | 1,15 | 47,56       |
| Muro SO             | 10,222          | 10      | 0,4312                 | 1,05 | 1,15 | 53,22       |
| Ventana V6          | 3,788           | 10      | 2,983                  | 1,1  | 1,15 | 142,94      |
| Ventana V11         | 2,31            | 10      | 2,9887                 | 1,05 | 1,15 | 83,36       |
| Pérdidas Renovación |                 |         |                        |      |      | 155,99      |

|              |  |                |
|--------------|--|----------------|
| <b>TOTAL</b> |  | <b>483,1 W</b> |
|--------------|--|----------------|

| Salón               |                 | INVIERNO (calefacción) |           |      |    |             |
|---------------------|-----------------|------------------------|-----------|------|----|-------------|
|                     | Superficie (m²) | ΔT (°C)                | U (W/m²K) | Co   | Ci | Parcial (W) |
| Muro N              | 67,59           | 17,5                   | 0,4299    | 1,15 | 1  | 584,77      |
| Muro SE             | 8,459           | 17,5                   | 0,4313    | 1,1  | 1  | 70,23       |
| Ventana V2          | 13,464          | 17,5                   | 2,8663    | 1,15 | 1  | 776,66      |
| Ventana V3          | 7,106           | 17,5                   | 2,8866    | 1,15 | 1  | 412,81      |
| Ventana V4          | 2,665           | 17,5                   | 2,9178    | 1,1  | 1  | 149,69      |
| Techo               | 41              | 17,5                   | 0,289     | 1    | 1  | 207,36      |
| Pérdidas Renovación |                 |                        |           |      |    | 1039,70     |
| TOTAL               |                 |                        |           |      |    | 3241,2 W    |

| Salón               |                 | VERANO (refrigeración) |           |      |      |             |
|---------------------|-----------------|------------------------|-----------|------|------|-------------|
|                     | Superficie (m²) | ΔT (°C)                | U (W/m²K) | Co   | Ci   | Parcial (W) |
| Muro N              | 67,59           | 10                     | 0,4299    | 1,15 | 1,15 | 384,28      |
| Muro SE             | 8,459           | 10                     | 0,4313    | 1,1  | 1,15 | 46,15       |
| Ventana V2          | 13,464          | 10                     | 2,8663    | 1,15 | 1,15 | 510,38      |
| Ventana V3          | 7,106           | 10                     | 2,8866    | 1,15 | 1,15 | 271,27      |
| Ventana V4          | 2,665           | 10                     | 2,9178    | 1,1  | 1,15 | 98,37       |
| Techo               | 41              | 10                     | 0,289     | 1    | 1,15 | 136,26      |
| Pérdidas Renovación |                 |                        |           |      |      | 594,11      |
| TOTAL               |                 |                        |           |      |      | 2040,8 W    |

| Cocina  |                              | INVIERNO (calefacción) |                        |      |    |             |
|---------|------------------------------|------------------------|------------------------|------|----|-------------|
|         | Superficie (m <sup>2</sup> ) | $\Delta T$ (°C)        | U (W/m <sup>2</sup> K) | Co   | Ci | Parcial (W) |
| Muro SE | 2,695                        | 15,5                   | 0,4313                 | 1,1  | 1  | 19,82       |
| Muro SO | 11,715                       | 15,5                   | 0,4312                 | 1,05 | 1  | 82,21       |

|                     |                 |         |                        |      |      |             |
|---------------------|-----------------|---------|------------------------|------|------|-------------|
| Ventana V5          | 4,73            | 15,5    | 2,9082                 | 1,1  | 1    | 234,54      |
| Ventana V1          | 7,05            | 15,5    | 2,9524                 | 1,05 | 1    | 338,75      |
| Techo               | 19,24           | 15,5    | 0,289                  | 1    | 1    | 86,19       |
| Pérdidas Renovación |                 |         |                        |      |      | 268,22      |
| TOTAL               |                 |         |                        |      |      | 1029,7 W    |
|                     |                 |         |                        |      |      |             |
| Cocina              |                 |         | VERANO (refrigeración) |      |      |             |
|                     | Superficie (m²) | ΔT (°C) | U (W/m²K)              | Co   | Ci   | Parcial (W) |
| Muro SE             | 2,695           | 12      | 0,4313                 | 1,1  | 1,15 | 17,64       |
| Muro SO             | 11,715          | 12      | 0,4312                 | 1,05 | 1,15 | 73,20       |
| Ventana V5          | 4,73            | 12      | 2,9082                 | 1,1  | 1,15 | 208,81      |
| Ventana V1          | 7,05            | 12      | 2,9524                 | 1,05 | 1,15 | 301,60      |
| Techo               | 19,24           | 12      | 0,289                  | 1    | 1,15 | 76,73       |
| Pérdidas Renovación |                 |         |                        |      |      | 207,66      |
| TOTAL               |                 |         |                        |      |      | 885,6 W     |

Tabla 22. Cargas térmicas máximas invierno/verano habitación por habitación



Realizando el sumatorio de las cargas térmicas de todas las habitaciones obtenemos la carga máxima que necesitaría la vivienda. Estos valores son importantes para la elección de la bomba de calor.

|                                        |                                      |
|----------------------------------------|--------------------------------------|
| <b>MÁXIMA<br/>INVIERNO<br/>7.400 W</b> | <b>MÁXIMA<br/>VERANO<br/>4.872 W</b> |
|----------------------------------------|--------------------------------------|

*Tabla 23. Cargas máximas de calefacción/refrigeración que consume la vivienda*

La superficie total a climatizar en la vivienda objeto de estudio de este proyecto es de 131,47 m<sup>2</sup>.

## 25 Fichas justificativas de la opción simplificada del CTE

A continuación se adjuntan las tablas justificativas que incluye el CTE que hay que rellenar a modo de resumen y de cálculo de la opción simplificada de la envolvente térmica.

FICHA 1 Cálculo de los parámetros característicos medios

|                |  |    |                            |  |                                     |                            |                          |
|----------------|--|----|----------------------------|--|-------------------------------------|----------------------------|--------------------------|
| ZONA CLIMÁTICA |  | B3 | Zona de baja carga interna |  | <input checked="" type="checkbox"/> | Zona de alta carga interna | <input type="checkbox"/> |
|----------------|--|----|----------------------------|--|-------------------------------------|----------------------------|--------------------------|

| MUROS ( $U_{Mm}$ ) y ( $U_{Tm}$ ) |                 |                     |                         |            |                                          |         |
|-----------------------------------|-----------------|---------------------|-------------------------|------------|------------------------------------------|---------|
| Tipos                             |                 | A (m <sup>2</sup> ) | U (W/m <sup>2</sup> °K) | A·U (W/°K) | Resultados                               |         |
| Z                                 | Muro            | 96,69               | 0,433                   | 41,867     | $\Sigma A =$                             | 106,092 |
|                                   | Pilares Fachada | 8,46                | 0,41                    | 3,508      | $\Sigma A \cdot U =$                     | 45,460  |
|                                   | Cajas Persiana  | 0,942               | 0,09                    | 0,085      | $U_{Mm} = \Sigma A \cdot U / \Sigma A =$ | 0,428   |
| E                                 | Muro            | 5,086               | 0,433                   | 2,202      | $\Sigma A =$                             | 5,488   |
|                                   |                 |                     |                         |            | $\Sigma A \cdot U =$                     | 2,239   |
|                                   | Cajas Persiana  | 0,402               | 0,09                    | 0,036      | $U_{Mm} = \Sigma A \cdot U / \Sigma A =$ | 0,408   |
| O                                 |                 |                     |                         |            | $\Sigma A =$                             |         |
|                                   |                 |                     |                         |            | $\Sigma A \cdot U =$                     |         |
|                                   |                 |                     |                         |            | $U_{Mm} = \Sigma A \cdot U / \Sigma A =$ |         |
| S                                 |                 |                     |                         |            | $\Sigma A =$                             |         |
|                                   |                 |                     |                         |            | $\Sigma A \cdot U =$                     |         |
|                                   |                 |                     |                         |            | $U_{Mm} = \Sigma A \cdot U / \Sigma A =$ |         |
| SE                                | Muro            | 44,593              | 0,433                   | 19,309     | $\Sigma A =$                             | 49,093  |
|                                   | Pilares Fachada | 4,5                 | 0,4147                  | 1,866      | $\Sigma A \cdot U =$                     | 21,175  |
|                                   |                 |                     |                         |            | $U_{Mm} = \Sigma A \cdot U / \Sigma A =$ | 0,431   |
| SO                                | Muro            | 48,682              | 0,433                   | 21,079     | $\Sigma A =$                             | 53,932  |
|                                   | Pilares Fachada | 5,25                | 0,4147                  | 2,177      | $\Sigma A \cdot U =$                     | 23,256  |
|                                   |                 |                     |                         |            | $U_{Mm} = \Sigma A \cdot U / \Sigma A =$ | 0,431   |
| C-TER                             | Muro Terreno    | 11,33               | 0,3586                  | 4,063      | $\Sigma A =$                             | 11,330  |
|                                   |                 |                     |                         |            | $\Sigma A \cdot U =$                     | 4,063   |
|                                   |                 |                     |                         |            | $U_{Tm} = \Sigma A \cdot U / \Sigma A =$ | 0,359   |

| SUELOS ( $U_{Sm}$ ) |                     |                         |            |                                          |
|---------------------|---------------------|-------------------------|------------|------------------------------------------|
| Tipos               | A (m <sup>2</sup> ) | U (W/m <sup>2</sup> °K) | A·U (W/°K) | Resultados                               |
|                     |                     |                         |            | $\Sigma A =$                             |
|                     |                     |                         |            | $\Sigma A \cdot U =$                     |
|                     |                     |                         |            | $U_{Sm} = \Sigma A \cdot U / \Sigma A =$ |

| CUBIERTAS Y LUCERNARIOS ( $U_{Cm}$ y $F_{Lm}$ ) |                     |                         |            |                                          |
|-------------------------------------------------|---------------------|-------------------------|------------|------------------------------------------|
| Tipos                                           | A (m <sup>2</sup> ) | U (W/m <sup>2</sup> °K) | A·U (W/°K) | Resultados                               |
| Cubierta                                        | 52,416              | 0,289                   | 15,148     | $\Sigma A =$                             |
|                                                 |                     |                         |            | $\Sigma A \cdot U =$                     |
|                                                 |                     |                         |            | $U_{Cm} = \Sigma A \cdot U / \Sigma A =$ |

| Tipos | A (m <sup>2</sup> ) | F | A·F (m <sup>2</sup> ) | Resultados                               |
|-------|---------------------|---|-----------------------|------------------------------------------|
|       |                     |   |                       | $\Sigma A =$                             |
|       |                     |   |                       | $\Sigma A \cdot F =$                     |
|       |                     |   |                       | $F_{Lm} = \Sigma A \cdot F / \Sigma A =$ |

|                |    |                            |                                                                |
|----------------|----|----------------------------|----------------------------------------------------------------|
| ZONA CLIMÁTICA | B3 | Zona de baja carga interna | <input checked="" type="checkbox"/> Zona de alta carga interna |
|----------------|----|----------------------------|----------------------------------------------------------------|

| HUECOS (U <sub>Hm</sub> y F <sub>Hm</sub> ) |         |                     |                         |       |            |                       |                           |        |
|---------------------------------------------|---------|---------------------|-------------------------|-------|------------|-----------------------|---------------------------|--------|
| Tipos                                       |         | A (m <sup>2</sup> ) | U (W/m <sup>2</sup> °K) |       | A·U (W/°K) |                       | Resultados                |        |
| Z                                           | V2      | 13,464              | 2,8663                  |       | 38,592     |                       | ΣA=                       | 32,120 |
|                                             | V3      | 7,106               | 2,8866                  |       | 20,512     |                       | ΣA·U=                     | 95,462 |
|                                             | V7      | 3,274               | 3,1727                  |       | 10,386     |                       | U <sub>Hm</sub> =ΣA·U/ΣA= | 2,972  |
|                                             | V8 (x2) | 3,498               | 3,1535                  |       | 11,031     |                       |                           |        |
|                                             | V10     | 1,28                | 3,055                   |       | 3,910      |                       |                           |        |
| Tipos                                       |         | A (m <sup>2</sup> ) | U                       | F     | A·U        | A·F (m <sup>2</sup> ) | Resultados                |        |
| E                                           | V9      | 4,4616              | 3,156                   | 0,393 | 14,081     | 1,753                 | ΣA=                       | 4,462  |
|                                             |         |                     |                         |       |            |                       | ΣA·U=                     | 14,081 |
|                                             |         |                     |                         |       |            |                       | ΣA·F=                     | 1,753  |
|                                             |         |                     |                         |       |            |                       | U <sub>Hm</sub> =ΣA·U/ΣA= | 3,156  |
|                                             |         |                     |                         |       |            |                       | F <sub>Hm</sub> =ΣA·F/ΣA= | 0,393  |
| O                                           |         |                     |                         |       |            |                       | ΣA=                       |        |
|                                             |         |                     |                         |       |            |                       | ΣA·U=                     |        |
|                                             |         |                     |                         |       |            |                       | ΣA·F=                     |        |
|                                             |         |                     |                         |       |            |                       | U <sub>Hm</sub> =ΣA·U/ΣA= |        |
|                                             |         |                     |                         |       |            |                       | F <sub>Hm</sub> =ΣA·F/ΣA= |        |
| S                                           |         |                     |                         |       |            |                       | ΣA=                       |        |
|                                             |         |                     |                         |       |            |                       | ΣA·U=                     |        |
|                                             |         |                     |                         |       |            |                       | ΣA·F=                     |        |
|                                             |         |                     |                         |       |            |                       | U <sub>Hm</sub> =ΣA·U/ΣA= |        |
|                                             |         |                     |                         |       |            |                       | F <sub>Hm</sub> =ΣA·F/ΣA= |        |
| SE                                          | V4      | 2,665               | 2,918                   | 0,646 | 7,776      | 1,722                 | ΣA=                       | 11,183 |
|                                             | V5      | 4,73                | 2,908                   | 0,623 | 13,755     | 2,947                 | ΣA·U=                     | 32,831 |
|                                             | V6      | 3,788               | 2,983                   | 0,653 | 11,300     | 2,474                 | ΣA·F=                     | 7,142  |
|                                             |         |                     |                         |       |            |                       | U <sub>Hm</sub> =ΣA·U/ΣA= | 2,936  |
|                                             |         |                     |                         |       |            |                       | F <sub>Hm</sub> =ΣA·F/ΣA= | 0,557  |
| SO                                          | V1      | 7,05                | 2,952                   | 0,669 | 20,812     | 4,716                 | ΣA=                       | 14,550 |
|                                             | V11     | 2,31                | 2,989                   | 0,65  | 6,905      | 1,502                 | ΣA·U=                     | 39,884 |
|                                             | V12     | 1,89                | 3                       | 0,644 | 5,670      | 1,217                 | ΣA·F=                     | 7,435  |
|                                             | P1      | 3,3                 | 1,969                   | -     | 6,498      | -                     | U <sub>Hm</sub> =ΣA·U/ΣA= | 2,741  |
|                                             |         |                     |                         |       |            |                       | F <sub>Hm</sub> =ΣA·F/ΣA= | 0,661  |

## FICHA 2 CONFORMIDAD - Demanda energética

|                       |    |                                   |                                     |                                   |                          |
|-----------------------|----|-----------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|--------------------------|
| <b>ZONA CLIMÁTICA</b> | B3 | <b>Zona de baja carga interna</b> | <input checked="" type="checkbox"/> | <b>Zona de alta carga interna</b> | <input type="checkbox"/> |
|-----------------------|----|-----------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|--------------------------|

| Cerramientos y particiones interiores de la envolvente térmica                   | $U_{\text{maxproy}}^{(1)}$ | $U_{\text{max}}^{(2)}$ |
|----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|------------------------|
| Muros de fachada                                                                 | 0,4313                     | ≤ 1,07                 |
| Primer metro del perímetro de suelos apoyados y muros en contacto con el terreno |                            |                        |
| Particiones interiores en contacto con espacios no habitables                    |                            |                        |
| Suelos                                                                           |                            | ≤                      |
| Cubiertas                                                                        | 0,289                      | ≤ 0,59                 |
| Vidrios de huecos y lucernarios                                                  | 3,156                      | ≤ 5,7                  |
| Marcos de huecos y lucernarios                                                   | 4                          |                        |
| Medianerías                                                                      |                            | ≤                      |

|                                                                |                          |
|----------------------------------------------------------------|--------------------------|
| Particiones interiores (edificios de viviendas) <sup>(3)</sup> | ≤ 1,2 W/m <sup>2</sup> K |
|----------------------------------------------------------------|--------------------------|

| MUROS DE FACHADA |                       |                         |
|------------------|-----------------------|-------------------------|
|                  | $U_{\text{Mm}}^{(4)}$ | $U_{\text{Mlim}}^{(5)}$ |
| N                | 0,430                 | ≤ 0,82                  |
| E                | 0,408                 |                         |
| O                |                       |                         |
| S                |                       |                         |
| SE               | 0,431                 |                         |
| SO               | 0,431                 |                         |

| HUECOS Y LUCERNARIOS |                       |                         |   |                       |                         |
|----------------------|-----------------------|-------------------------|---|-----------------------|-------------------------|
|                      | $U_{\text{Hm}}^{(4)}$ | $U_{\text{Hlim}}^{(5)}$ |   | $F_{\text{Hm}}^{(4)}$ | $F_{\text{Hlim}}^{(5)}$ |
|                      | 2,972                 | 3,3                     | ≤ | 0,413                 | ≤ 0,53                  |
|                      | 3,156                 | 3,7                     |   |                       |                         |
|                      |                       |                         | ≤ |                       | ≤                       |
|                      | 2,936                 | 5,7                     |   |                       |                         |
|                      | 2,751                 |                         |   | 0,557                 | ≤                       |
|                      |                       |                         |   | 0,661                 | ≤                       |

| CERR. CONTACTO TERRENO |                         |
|------------------------|-------------------------|
| $U_{\text{Tm}}^{(4)}$  | $U_{\text{Tlim}}^{(5)}$ |
| 0,3586                 | ≤ 0,82                  |

| SUELOS                |                         |
|-----------------------|-------------------------|
| $U_{\text{Sm}}^{(4)}$ | $U_{\text{Slim}}^{(5)}$ |
|                       | ≤                       |

| CUBIERTAS             |                         |
|-----------------------|-------------------------|
| $U_{\text{Cm}}^{(4)}$ | $U_{\text{Clim}}^{(5)}$ |
| 0,289                 | ≤ 0,45                  |

| LUCERNARIOS     |                   |
|-----------------|-------------------|
| $F_{\text{Lm}}$ | $F_{\text{Llim}}$ |
|                 | ≤                 |

<sup>(1)</sup>  $U_{\text{maxproy}}$  corresponde al mayor valor de la transmitancia de los cerramientos o particiones interiores indicados en proyecto.

<sup>(2)</sup>  $U_{\text{max}}$  corresponde a la transmitancia térmica máxima definida en la tabla 2,1 para cada tipo de cerramiento o partición interior.

<sup>(3)</sup> En edificios de viviendas,  $U_{\text{maxproy}}$  de particiones interiores que limiten unidades de uso con un sistema de calefacción previsto desde proyecto con las zonas comunes no calefactadas.

<sup>(4)</sup> Parámetros característicos medios obtenidos en la ficha 1.

<sup>(5)</sup> Valores límite de los parámetros característicos medios definidos en la tabla 2.2.

## 26 Suelo radiante

Una vez conocidas todas las necesidades térmicas de cada habitación de la vivienda se deben realizar ciertos cálculos para dimensionar de forma óptima la instalación de suelo radiante encargada de llevar a cabo la calefacción de la vivienda.

Como se explica en la memoria existen muchas posibilidades de distribución de los tubos dentro de una misma habitación aunque los dos más habituales son en espiral y en serpentín. Aunque cada uno tiene sus propias ventajas e inconvenientes a la hora del diseño de los circuitos para la vivienda objeto de estudio se ha preferido optar por la distribución en serpentín. El factor principal para decantarse por esta opción y no otra es que es más apropiada para habitaciones de superficie alargada, como la mayoría de las de la vivienda en cuestión, si se realizase la instalación mediante el sistema de espirales los circuitos quedarían muy juntos unos de otros en determinadas zonas de la habitación.

El material de los tubos también está sujeto a un proceso de selección. Los tubos de materiales metálicos ya están en desuso y los materiales en que se hacen los tubos plásticos son principalmente dos: polipropileno y polietileno reticulado. Los tubos de polietileno soportan temperaturas superiores y son más flexibles que los de polipropileno, pero también son más caros. Aun así la capacidad de los tubos de polietileno reticulado para trabajar tanto como suelo radiante como suelo refrescante ha provocado que sean actualmente los más utilizados y vendidos. Por eso en la vivienda objeto de este proyecto se emplearán tubos de polietileno reticulado.

## 26.1 Módulo de distribución

El módulo de distribución es el parámetro que indica la distancia a la que deben ir los tubos en un determinado circuito. La importancia del módulo es fundamental, pues la potencia calorífica que suministra el suelo radiante es inversamente proporcional a la separación entre tubos de un circuito. Pese a que en teoría pueden existir tantos módulos como distancias entre tubos, se utilizan unos módulos estandarizados. La única regla que ha de cumplirse es que el diámetro de curvatura no sea menor de 15 veces el diámetro exterior del tubo ya que el tubo podría doblarse y formarse un pliegue que impidiese el paso del agua.

El tubo de polietileno más utilizado es el de 20-16 mm, por lo tanto el diámetro mínimo de curvatura será de 30 cm. Los módulos para tubo de 20-16 mm son: 30/30, 30/20 y 30/6.

### 26.1.1 Determinación del módulo necesario

La transmisión de calor por suelo radiante se realiza en parte por radiación y en parte por convección. La cesión de esta energía depende principalmente de la diferencia de temperaturas entre el suelo y el ambiente de la habitación y viene dada por la fórmula:

$$P = \alpha \cdot (t_s - t_a)$$

*Ecuación 17. Potencia térmica cedida*

siendo:

$P$  Potencia térmica cedida [ $\text{W/m}^2$ ].

$\alpha$  coeficiente de transmisión térmica global del suelo [ $\text{W/m}^2\text{°C}$ ].

$t_s$  temperatura superficial del suelo.

$t_a$  temperatura ambiente.

De esta fórmula se deduce que si la temperatura ambiente de la habitación es fija (o se pretende que así sea), y el coeficiente de transmisión es constante, la potencia térmica cedida por el suelo radiante está únicamente en función de la temperatura superficial del suelo. Esta, a su vez, depende de dos factores: la distancia entre tubos, y la temperatura del agua que circula por ellos. La siguiente gráfica relaciona estos parámetros, y permite averiguar la potencia cedida por el suelo para una temperatura de agua y un módulo determinado.

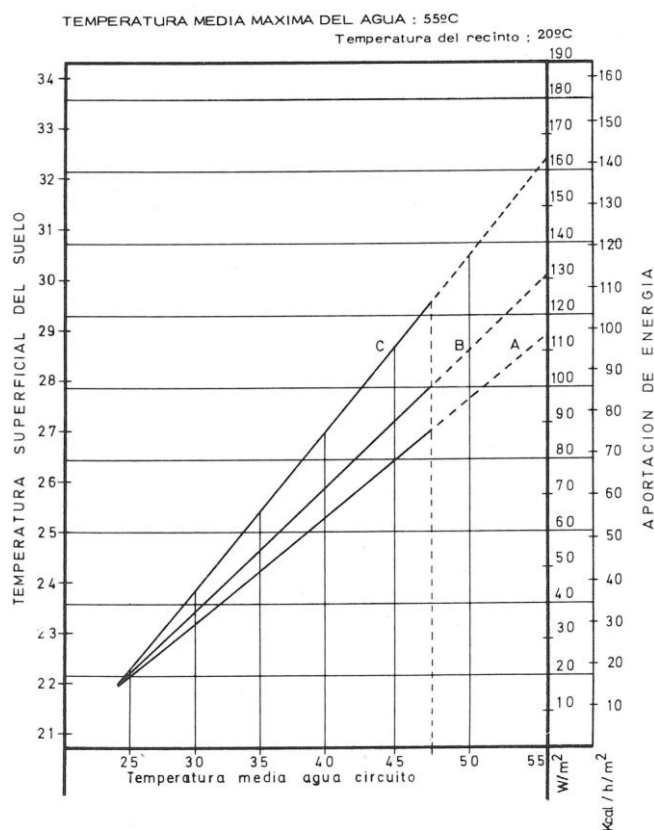


Ilustración 25. Potencia suministrada por los distintos módulos. A=30/30, B=30/20, C=30/6 (PROGENSA)

Sin embargo, el dato que se pretende obtener mediante esta gráfica es el del módulo para lo cual se fija la temperatura media del agua por el circuito en 35°C y se calcula la potencia cedida por m<sup>2</sup> de cada habitación.

### 26.1.2 Cálculo de la potencia cedida por m<sup>2</sup>

Para poder elegir el módulo más apropiado para cada circuito hay que realizar una serie de cálculos previos. El dato principal para la elección de un módulo u otro es la potencia por m<sup>2</sup> que se debe aportar en cada habitación.

Esta potencia calorífica es la necesaria para compensar las pérdidas térmicas que se produzcan en el local en el caso más desfavorable. Estas potencias máximas son las calculadas en el apartado *12 Cargas térmicas máximas*. Sin embargo, ahora hay que tener en cuenta que el suelo, con los materiales de los que este compuesto, juega un papel fundamental ya que puede actuar como buen conductor térmico o todo lo contrario, se introduce por lo tanto un factor de corrección. Por ejemplo si el suelo tiene una capa de moqueta, parquet o PVC actuará como aislante térmico provocando que la potencia térmica a aportar por los tubos tenga que ser mayor. La potencia a suministrar por el circuito será:

$$P_{\text{circuito}} = \frac{P_{\text{MAX}}}{FC}$$

*Ecuación 18. Potencia por circuito*

Llegados a este punto es necesario tener en cuenta cómo ha diseñado el arquitecto los suelos de la vivienda. En la planta sótano (habitaciones y sala de estar) el suelo será cemento pulido con un espesor de 15 mm. En la planta baja (salón y cocina) el suelo



estará compuesto de piedra caliza apomazada en baldosas no menores a 60x40 cm y de espesor 20 mm.

El factor de corrección para las habitaciones de la planta sótano será de 1.15 mientras para la planta baja será de 1.2.

Por lo tanto, calculando la potencia térmica por m<sup>2</sup> de cada habitación:

|                      | Pmax<br>(W) | FC  | Pcircuito<br>(W) | Superficie<br>(m <sup>2</sup> ) | W/m <sup>2</sup> |
|----------------------|-------------|-----|------------------|---------------------------------|------------------|
| Dormitorio Principal | 743,8       | 1,2 | 646,8            | 15,45                           | <b>41,9</b>      |
| Dormitorio 2         | 472,1       | 1,2 | 410,6            | 12,7                            | <b>32,3</b>      |
| Dormitorio 3         | 452,0       | 1,2 | 393,0            | 11,37                           | <b>34,6</b>      |
| Dormitorio 4         | 690,5       | 1,2 | 600,4            | 13,7                            | <b>43,8</b>      |
| Sala de Estar        | 770,7       | 1,2 | 670,2            | 18,01                           | <b>37,2</b>      |
| Salón                | 3241,2      | 1,2 | 2701,0           | 41                              | <b>65,9</b>      |
| Cocina               | 1029,7      | 1,2 | 858,1            | 19,24                           | <b>44,6</b>      |

*Tabla 24. Potencia por superficie a aportar en cada habitación*

Con el valor de potencia por superficie necesario para cada habitación y el dato de la temperatura media del agua por el circuito se puede determinar, mediante el uso de la gráfica de la *ilustración 7 Potencia suministrada por los distintos módulos*. A=30/30, B=30/20, C=30/6, el módulo necesario para cada habitación. La mayoría de las habitaciones excepto el salón tienen unos valores de potencia por unidad de superficie parecidos y el módulo 30/30 sería suficiente. Sin embargo para el salón será preciso disponer los tubos de forma diferente de tal forma que cumplan el módulo 30/6.

|                      | Módulo |
|----------------------|--------|
| Dormitorio Principal | 30/30  |
| Dormitorio 2         | 30/30  |
| Dormitorio 3         | 30/30  |
| Dormitorio 4         | 30/30  |
| Sala de Estar        | 30/30  |
| Salón                | 30/6   |
| Cocina               | 30/30  |

*Tabla 25. Módulos por habitación*

## 26.2 Circuitos

En la vivienda habrá dos distribuidores, uno en cada planta, desde los que saldrán los circuitos hacia cada habitación, a excepción del salón que al tener tanta superficie tendrá dos circuitos. Por lo tanto el distribuidor de la planta baja tendrá 3 circuitos y se localizará en la cocina de tal forma que quede localizado por encima del distribuidor de la planta sótano, que tendrá 5 circuitos y se localizará en la sala de máquinas, cerca de la bomba de calor.

Para mantener la autonomía energética de cada habitación cada circuito tendrá una electroválvula en el distribuidor asociada a un termostato dentro de cada habitación.

Si se quiere observar con mayor detalle se puede dirigir a la sección de planos donde se verá reflejado con todo detalle.

## 27 Planos

Se adjuntan los siguientes planos:

- ✧ Plano de situación.
- ✧ Plano planta baja.
- ✧ Plano planta sótano.
- ✧ Carpinterías.
- ✧ Planos calefacción:
  - Planta baja.
  - Planta sótano.
- ✧ Planos refrigeración:
  - Planta baja.
  - Planta sótano.



# PRESUPUESTO



## 28 Componentes

| Desig    | DESCRIPCIÓN                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Uds.   | Medida         |
|----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|----------------|
| <b>1</b> | <b>BOMBA DE CALOR GEOTÉRMICA</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |        |                |
| 1.1      | Bomba de Calor Geotérmica marca HAUTEC, modelo Carno HCS-PK-232K. Líquido refrigerante R407c y R134a. COP 4,6. Potencia térmica 7,8 kW. Incluye depósito para ACS de 200 l                                                                                                                                                        | 1      | Ud.            |
| 1.2      | Módulo de refrescamiento pasivo marca HAUTEC, modelo HPK01                                                                                                                                                                                                                                                                        | 1      | Ud.            |
| <b>2</b> | <b>CAPTACIÓN GEOTÉRMICA</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |        |                |
| 2.1      | Tubería para captación vertical marca HAUTEC, modelo HAR 32. Tubería de PE 32x2,9                                                                                                                                                                                                                                                 | 275    | m              |
| 2.2      | Pesa de 20 kg marca HAUTEC para sonda vertical                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 3      | Ud.            |
| 2.3      | Colector para circuito primario marca HAUTEC, modelo HSV 03/0                                                                                                                                                                                                                                                                     | 1      | Ud.            |
| 2.4      | Concentrado de anticongelante para circuito primario                                                                                                                                                                                                                                                                              | 50     | l              |
| <b>3</b> | <b>CALEFACCIÓN</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |        |                |
| 3.1      | Elemento base marca POLYTHERM, modelo POL+20-45. Elemento de fijación de tubos y aislamiento acústico. Material EPS                                                                                                                                                                                                               | 131,47 | m <sup>2</sup> |
| 3.2      | Tubo de polietileno reticulado marca POLYTHERM, modelo tubo PE-Xb ø16 x 1,8 EVOHPEX Antidifusión                                                                                                                                                                                                                                  | 525,8  | m              |
| 3.3      | Distribuidor para suelo radiante marca POLYTHERM, modelo Distribuidor CLASICO ø16, 3 circuitos. Compuesto de un colector de impulsión con válvulas de 2 vías y fijación para accionamiento eléctrico en cada circuito, colector de retorno con medidores de caudal de regulación integrada en cada circuito y purgador automático | 1      | Ud.            |
| 3.4      | Distribuidor para suelo radiante marca POLYTHERM, modelo Distribuidor CLASICO ø16, 5 circuitos. Compuesto de un colector de impulsión con válvulas de 2 vías y fijación para accionamiento eléctrico en cada circuito, colector de retorno con medidores de caudal de regulación integrada en cada circuito y purgador automático | 1      | Ud.            |

|          |                                                                                                                                                             |        |                |
|----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|----------------|
| 3.5      | Hoja aislante de PE marca POLYTHERM para suelos en contacto con el terreno                                                                                  | 71     | m <sup>2</sup> |
| 3.6      | Aditivo para mortero marca POLYTHERM, nombre ESTROLITH                                                                                                      | 21,04  | kg             |
| 3.7      | Tira perimetral aislante marca POLYTHERM                                                                                                                    | 131,47 | m              |
| 3.8      | Termostato electrónico marcha/paro suministrado por POLYTHERM, modelo Termostato electrónico SF-20.T/1.S2-PT. Sensibilidad 0,1 °C                           | 7      | Uds.           |
| <b>4</b> | <b>REFRIGERACIÓN</b>                                                                                                                                        |        |                |
| 4.1      | Unidad interior de conductos marca FUJITSU, modelo ACY25UIF. Potencia frigorífica 2,7 kW. Incluye mandos para encendido/apagado y regulación de temperatura | 7      | Uds.           |
| 4.2      | Unidad interior de cassette marca FUJITSU, modelo AUY25UIF. Potencia frigorífica 2,7 kW. Incluye mando para encendido/apagado y regulación de temperatura   | 1      | Ud.            |



**29 Precios unitarios y sumas parciales**

| <b>Desig</b> | <b>DESCRIPCIÓN</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | <b>Uds.</b> | <b>Medida</b>  | <b>€/ud.</b> | <b>TOTAL</b> |
|--------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|----------------|--------------|--------------|
| <b>1</b>     | <b>BOMBA DE CALOR GEOTÉRMICA</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |             |                |              |              |
| 1.1          | Bomba de Calor Geotérmica marca HAUTEC, modelo Carno HCS-PK-232K. Líquido refrigerante R407c y R134a. COP 4,6. Potencia térmica 7,8 kW. Incluye depósito para ACS de 200 l                                                                                                                                                        | 1           | Ud.            | 10.045       | 10.045 €     |
| 1.2          | Módulo de refrescamiento pasivo marca HAUTEC, modelo HPK01                                                                                                                                                                                                                                                                        | 1           | Ud.            | 1.290        | 1.290 €      |
| <b>2</b>     | <b>CAPTACIÓN GEOTÉRMICA</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |             |                |              |              |
| 2.1          | Tubería para captación vertical marca HAUTEC, modelo HAR 32. Tubería de PE 32x2,9                                                                                                                                                                                                                                                 | 275         | m              | 1,76         | 528 €        |
| 2.2          | Pesa de 20 kg marca HAUTEC para sonda vertical                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 3           | Ud.            | 100          | 300 €        |
| 2.3          | Colector para circuito primario marca HAUTEC, modelo HSV 03/0                                                                                                                                                                                                                                                                     | 1           | Ud.            | 392          | 392 €        |
| 2.4          | Concentrado de anticongelante para circuito primario                                                                                                                                                                                                                                                                              | 50          | l              | 6,38         | 319 €        |
| <b>3</b>     | <b>CALEFACCIÓN</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |             |                |              |              |
| 3.1          | Elemento base marca POLYTHERM, modelo POL+20-45. Elemento de fijación de tubos y aislamiento acústico. Material EPS                                                                                                                                                                                                               | 131,47      | m <sup>2</sup> | 9,52         | 104,72 €     |
| 3.2          | Tubo de polietileno reticulado marca POLYTHERM, modelo tubo PE-Xb ø16 x 1,8 EVOHPEX Antidifusión                                                                                                                                                                                                                                  | 525,8       | m              | 0,99         | 554,40 €     |
| 3.3          | Distribuidor para suelo radiante marca POLYTHERM, modelo Distribuidor CLASICO ø16, 3 circuitos. Compuesto de un colector de impulsión con válvulas de 2 vías y fijación para accionamiento eléctrico en cada circuito, colector de retorno con medidores de caudal de regulación integrada en cada circuito y purgador automático | 1           | Ud.            | 162          | 162 €        |

|          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |        |                |       |          |
|----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|----------------|-------|----------|
| 3.4      | Distribuidor para suelo radiante marca POLYTHERM, modelo Distribuidor CLASICO ø16, 5 circuitos. Compuesto de un colector de impulsión con válvulas de 2 vías y fijación para accionamiento eléctrico en cada circuito, colector de retorno con medidores de caudal de regulación integrada en cada circuito y purgador automático | 1      | Ud.            | 214   | 214 €    |
| 3.5      | Hoja aislante de PE marca POLYTHERM para suelos en contacto con el terreno                                                                                                                                                                                                                                                        | 71     | m <sup>2</sup> | 0,78  | 78 €     |
| 3.6      | Aditivo para mortero marca POLYTHERM, nombre ESTROLITH                                                                                                                                                                                                                                                                            | 21,04  | kg             | 4,18  | 8,36 €   |
| 3.7      | Tira perimetral aislante marca POLYTHERM                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 131,47 | m              | 0,62  | 93 €     |
| 3.8      | Termostato electrónico marcha/paro suministrado por POLYTHERM, modelo Termostato electrónico SF-20.T/1.S2-PT. Sensibilidad 0,1 °C                                                                                                                                                                                                 | 7      | Uds.           | 26,27 | 183,89 € |
| <b>4</b> | <b>REFRIGERACIÓN</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |        |                |       |          |
| 4.1      | Unidad interior de conductos marca FUJITSU, modelo ACY25UIF. Potencia frigorífica 2,7 kW. Incluye mandos para encendido/apagado y regulación de temperatura                                                                                                                                                                       | 7      | Uds.           | 677   | 4.739 €  |
| 4.2      | Unidad interior de cassette marca FUJITSU, modelo AUY25UIF. Potencia frigorífica 2,7 kW. Incluye mando para encendido/apagado y regulación de temperatura                                                                                                                                                                         | 1      | Ud.            | 881   | 881 €    |

|                           |                    |
|---------------------------|--------------------|
| BOMBA DE CALOR GEOTÉRMICA | 11.335,00 €        |
| CAPTACIÓN GEOTÉRMICA      | 1.539,00 €         |
| CALEFACCIÓN               | 1.398,37 €         |
| REFRIGERACIÓN             | 5.620,00 €         |
| <b>TOTAL</b>              | <b>19.892,37 €</b> |

### 30 Instalación y mano de obra

| <b>CAPTACIÓN GEOTÉRMICA</b>                                                                                                                        |                    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|
| Instalación (incluye perforación, pruebas de estanqueidad, instalación de los tubos, mano de obra, montaje, transporte y puesta en funcionamiento) | 8.000,00 €         |
| Obra civil (permisos incluidos)                                                                                                                    | 2.500,00 €         |
| <b>TOTAL</b>                                                                                                                                       | <b>10.500,00 €</b> |
| <b>CALEFACCIÓN</b>                                                                                                                                 |                    |
| Instalación (incluye mano de obra, montaje, transporte y puesta en funcionamiento)                                                                 | 1.100,00 €         |
| <b>REFRIGERACIÓN</b>                                                                                                                               |                    |
| Instalación (incluye mano de obra, montaje, transporte y puesta en funcionamiento)                                                                 | 950,00 €           |
|                                                                                                                                                    |                    |
| <b>TOTAL</b>                                                                                                                                       | <b>12.550,00 €</b> |

### 31 Subvenciones

Por tratarse del aprovechamiento de una fuente de energía renovable favoreciendo el cuidado del medio ambiente y la eficiencia energética en muchas comunidades autónomas se proponen ayudas y subvenciones para la creación de este tipo de instalaciones entre los ciudadanos que las hacen aún más interesantes.

En este proyecto se van a tener en cuenta las ayudas que proporciona el Ente Vasco de la Energía (EVE) por ser considerado un organismo a la vanguardia en este aspecto y modelo en el que pronto se basarán otras comunidades autónomas.

La subvención para instalaciones de captación vertical es de 2.000 € por kW renovable. Como la instalación de este proyecto aprovecha 5,8 kW geotérmicos la subvención correspondiente sería de 11.600 €

### 32 Presupuesto general

| <b>PRESUPUESTO GENERAL</b>                         |     |                           |
|----------------------------------------------------|-----|---------------------------|
| COMPONENTES                                        |     | 19.892,37 €               |
| INSTALACIONES Y MANO DE OBRA                       |     | 12.550,00 €               |
|                                                    |     |                           |
| SUBVENCIONES                                       | -   | 11.600,00 €               |
|                                                    |     |                           |
| SUMA                                               |     | 20.842,37 €               |
| IVA                                                | 21% | 4.376,90 €                |
|                                                    |     |                           |
| <b>TOTAL PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN POR CONTRATA</b> |     | <b><u>25.219,27 €</u></b> |

El valor total para la ejecución del proyecto de instalación de climatización con energía geotérmica en una vivienda unifamiliar en Fornells asciende a 25.219,27 €, VEINTICINCO MIL, DOSCIENTOS DIECINUEVE EUROS con VEINTISIETE CÉNTIMOS.

# ESTUDIO COMPARATIVO

---



Se realizará un estudio de la viabilidad de la implantación del sistema analizado en el presente proyecto así como una comparativa con respecto a los otros sistemas disponibles para climatización en la actualidad. Se realizará un análisis del tiempo necesario para que el sistema de climatización geotérmica sea rentable económicamente respecto al resto.

El sistema de climatización geotérmica será comparado con la electricidad, el gas natural y el gasoil.

Para realizar dichas comparativas es necesario fijar ciertos parámetros del estudio.

Para poder realizar un análisis con carácter anual es preciso conocer la energía consumida en ese periodo. Para ello, se ha analizado un estudio realizado por el IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía) dependiente del Ministerio de Industria sobre el consumo energético anual en los hogares españoles. Mientras que el consumo energético medio de una vivienda unifamiliar como la de este estudio es de 15.513 kWh, en las regiones mediterráneas esta cifra desciende a 8.363 kWh. Si se descuenta la fracción correspondiente a electrodomésticos, cocina e iluminación que serán comunes a todas las opciones y se considera la fracción correspondiente a calefacción, agua caliente y aire acondicionado (70%) se puede utilizar como dato para este estudio la cifra de consumo anual de 5.867 kWh.

Ya que el COP de la bomba de calor empleada en la instalación es 4,6 (que relaciona la potencia térmica recibida de la bomba con la potencia eléctrica que hay que

suministrar), el gasto de energía eléctrica del sistema de energía geotérmica valdrá:

$$kWh_{Termicos} / COP = kWh_{Electricos} = 5867 / 4,6 = 1275 kWh$$

Por lo tanto la potencia eléctrica consumida por el sistema geotérmico sería de 1275 kWh anuales.

A fecha de realización del presente proyecto el coste del kWh eléctrico es de 0,167213 €/kWh, por lo que el gasto económico para el funcionamiento del sistema geotérmico es de 213,20 € anuales.

El coste inicial para la instalación del sistema geotérmico es de 25.219,27 € (ver *Presupuesto*).

Se considerará un interés para el estudio de las amortizaciones del 2%.



### 33 Geotermia vs. Electricidad

El precio del kWh eléctrico es de 0,167213 €/kWh.

Con una necesidad anual de 5.867 kWh el gasto al cabo del año es de 981,04 €.

La instalación inicial en el caso de utilizarse la electricidad como fuente de energía sería de aproximadamente 14.031,20 €<sup>3</sup> (habría que instalar una unidad exterior para los fan-coils y utilizarlos para calor y frío).

| Año       | Ahorro anual   | VAN          |
|-----------|----------------|--------------|
| 1         | 767,84         | -10435,29    |
| 2         | 790,88         | -9675,12     |
| 3         | 814,60         | -8907,50     |
| 4         | 839,04         | -8132,36     |
| 5         | 864,21         | -7349,62     |
| 6         | 890,14         | -6559,20     |
| 7         | 916,84         | -5761,04     |
| 8         | 944,35         | -4955,05     |
| 9         | 972,68         | -4141,15     |
| 10        | 1001,86        | -3319,28     |
| 11        | 1031,91        | -2489,35     |
| 12        | 1062,87        | -1651,29     |
| 13        | 1094,76        | -805,01      |
| <b>14</b> | <b>1127,60</b> | <b>49,57</b> |

*Tabla 26. Amortización respecto a método eléctrico*

Por tanto, a partir de los 14 años tras la instalación del sistema geotérmico supone un ahorro económico en comparación con realizar la climatización con energía eléctrica.

---

<sup>3</sup> Dato proporcionado por el arquitecto. La instalación consistiría en una bomba de calor exterior situada en la azotea.

### 34 Geotermia vs. Gasoil

Para calcular el precio de un kWh de gasoil se habrá de realizar lo siguiente teniendo en cuenta que el poder calorífico del gasoil es de 11,92 kWh/l, que su densidad es de 0,85 kg/l, que el precio del litro de gasoil para calefacción es de 0,62 €/l y un rendimiento para la caldera de 80%.

$$\frac{1}{0,8} \cdot \frac{kg}{11,92 kWh} \cdot \frac{l}{0,85 kg} \cdot \frac{0,62 €}{l} = 0,077 \text{ €/kWh}$$

Por lo tanto el precio del kWh suministrado mediante gasoil es de aproximadamente 0,077 €.

Si se realiza la climatización de la vivienda utilizando gasoil para la parte de calefacción se debe tener en cuenta pues que la necesidad de potencia calorífica no será la total ya que habrá que descontar la potencia frigorífica.

La energía necesaria para la calefacción sería aproximadamente de 3.850 kWh por lo que el gasto para la calefacción sería anualmente de 296,45 €. Las necesidades térmicas de refrigeración deberán ser cubiertas por electricidad para hacer funcionar los aparatos refrigerantes por lo que si los 2.000 kWh necesarios para la refrigeración se pagan a 0,167213 €/kWh el gasto para la refrigeración será de 334,43 €.

El gasto anual es pues, de 630,88 €.

La instalación inicial en el caso de utilizarse gasoil sería de aproximadamente 20.000 € (habría que comprar una unidad exterior para los fan-coils como en la opción de electricidad, caldera de gasoil, un depósito para el gasoil y la instalación necesaria para conducir el gasoil a la vivienda: estos 3 elementos cuestan aproximadamente 6.000 €).

| Año       | Ahorro anual  | VAN           |
|-----------|---------------|---------------|
| 1         | 417,68        | -4809,78      |
| 2         | 430,21        | -4396,27      |
| 3         | 443,12        | -3978,72      |
| 4         | 456,41        | -3557,06      |
| 5         | 470,10        | -3131,28      |
| 6         | 484,21        | -2701,32      |
| 7         | 498,73        | -2267,14      |
| 8         | 513,69        | -1828,71      |
| 9         | 529,10        | -1385,98      |
| 10        | 544,98        | -938,91       |
| 11        | 561,33        | -487,45       |
| 12        | 578,17        | -31,57        |
| <b>13</b> | <b>595,51</b> | <b>428,78</b> |

*Tabla 27. Amortización respecto a método con gasoil*

Por tanto, a partir de los 13 años tras la instalación del sistema geotérmico supone un ahorro económico en comparación con realizar la calefacción empleando gasoil y la refrigeración usando electricidad.

### 35 Geotermia vs. Gas Natural

Según datos de *Gas Natural SDG, S.A.*, el precio del kWh de este combustible es de 0,06 € incluyendo rendimientos de la caldera.

Al igual que para el gasoil, solo habrá de tarifarse con este valor la parte de potencia necesaria para la calefacción que sería, pues, de 231 €. El gasto necesario para la refrigeración es, como en el apartado anterior, de 334,43 €.

El gasto anual asciende entonces a 565,43 €.

La instalación inicial en el caso de utilizarse gas natural sería de aproximadamente 20.000 € (habría que comprar unidades exteriores para los fan-coils y realizar la instalación de acople a la red de gas natural).

| Año       | Ahorro anual  | VAN           |
|-----------|---------------|---------------|
| 1         | 352,23        | -4873,95      |
| 2         | 362,80        | -4525,24      |
| 3         | 373,68        | -4173,11      |
| 4         | 384,89        | -3817,53      |
| 5         | 396,44        | -3458,46      |
| 6         | 408,33        | -3095,88      |
| 7         | 420,58        | -2729,74      |
| 8         | 433,20        | -2360,01      |
| 9         | 446,19        | -1986,65      |
| 10        | 459,58        | -1609,63      |
| 11        | 473,37        | -1228,92      |
| 12        | 487,57        | -844,48       |
| 13        | 502,20        | -456,26       |
| 14        | 517,26        | -64,24        |
| <b>15</b> | <b>532,78</b> | <b>331,62</b> |

Tabla 28. Amortización respecto a método con gas natural

---

Por tanto, entre los 14~15 años tras la instalación del sistema geotérmico supone un ahorro económico en comparación con realizar la calefacción empleando gas natural y la refrigeración usando electricidad.

El estudio comparativo con el resto de tecnologías arroja datos bastante similares. Para todas ellas se demuestra que en un horizonte lejano realizar una instalación por energía geotérmica es rentable. Más aún si como es el caso de la vivienda objeto de estudio en este proyecto es una vivienda unifamiliar que a priori se proyecta para que tenga un uso largo en el tiempo.

Posiblemente la rentabilidad de esta tecnología sobre otras sea incluso mayor en edificios de necesidades térmicas mayores como edificios de oficinas o pisos.

También hay que tener en cuenta que a la instalación de este proyecto le penaliza bastante las características del terreno de la zona, que no es muy buen conductor térmicamente y provoca que deban realizarse más captaciones, lo que incrementa mucho el coste.

### 36 Impacto Ambiental

La implantación del sistema de climatización mediante energía geotérmica en la vivienda unifamiliar objeto de estudio no implica ningún impacto perjudicial para el medio ambiente.

La perforación subterránea para realizar la captación no afecta en absoluto a la fauna ni a la flora ya que queda por debajo de la superficie terrestre.

El empleo de la energía geotérmica no solo no perjudica al medio ambiente sino que reduce las emisiones de CO<sub>2</sub> que se emitirían al usar sistemas convencionales de gas o gasoil ya que no quema ningún tipo de combustible. Únicamente se podría alegar que produce CO<sub>2</sub> refiriéndose a la energía eléctrica que necesita la bomba de calor para funcionar. Para apreciar mejor su baja emisión de CO<sub>2</sub> se presentan los valores de emisión de los combustibles más utilizados en la actualidad.

- Electricidad<sup>4</sup>:  $0,37 \left[ \frac{kgCO_2}{kWh} \right]$
- Gasoil<sup>5</sup>:  $0,287 \left[ \frac{kgCO_2}{kWh} \right]$
- Gas natural<sup>5</sup>:  $0,204 \left[ \frac{kgCO_2}{kWh} \right]$
- Geotermia:  $0,37 / COP \left[ \frac{kgCO_2}{kWh} \right]$

---

<sup>4</sup> Fuente: “La energía en España 2007”, editado por el Ministerio de Industria, Turismo y Comercio (MITYC). (ISBN: 978-84-96275-64-5).

Atendiendo a la fórmula de las emisiones para la energía geotérmica, la bomba de calor seleccionada para la vivienda objeto de estudio de este proyecto, al tener un COP de 4,6:

$$0,37 / COP = 0,37 / 4,6 = 0,0804 \left[ kgCO_2 / kWh \right]$$

*Ecuación 19. Emisiones de CO<sub>2</sub> de la geotermia*

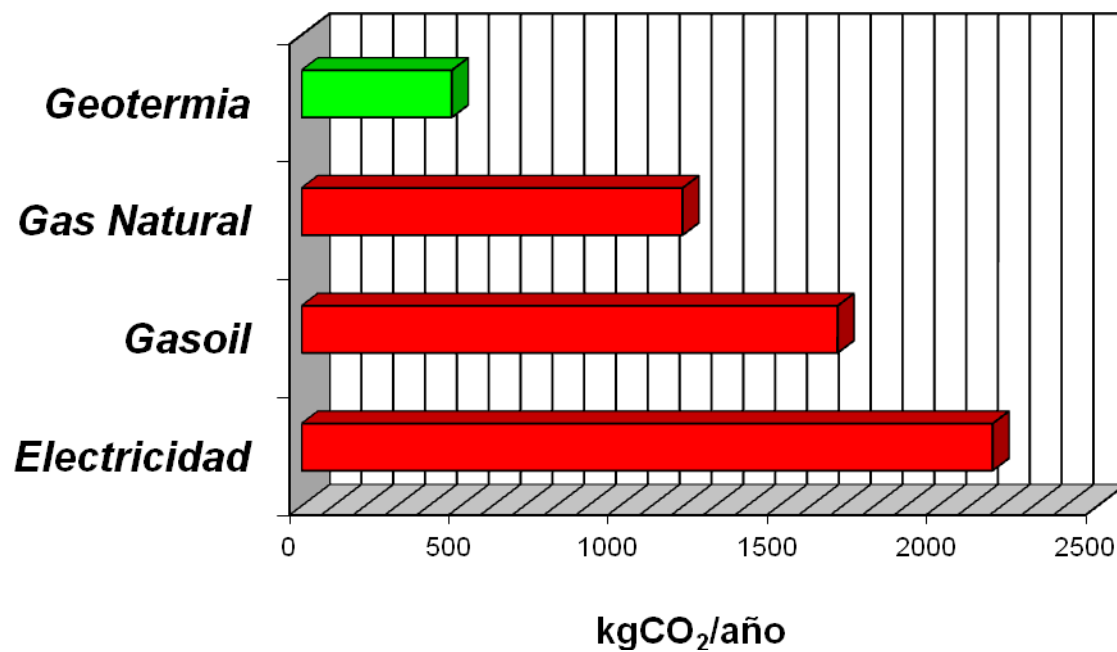
Si, como en los casos anteriores, consideramos una necesidad anual de 5.867 kWh, para cada combustible las emisiones serían:

- Electricidad:  $0,37 kgCO_2 / kWh \cdot 5.867 kWh \approx 2171 kgCO_2$
- Gasoil:  $0,287 kgCO_2 / kWh \cdot 5.867 kWh \approx 1684 kgCO_2$
- Gas natural:  $0,204 kgCO_2 / kWh \cdot 5.867 kWh \approx 1197 kgCO_2$
- Geotermia:  $0,0804 kgCO_2 / kWh \cdot 5.867 kWh \approx 472 kgCO_2$

Representado en un gráfico:

---

<sup>5</sup> Fuente: “Comentarios al RITE 2007”, editado por el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE). (ISBN: 978-84-96680-23-4).



*Ilustración 26. Kg CO<sub>2</sub> por tecnologías*

A la vista está que la implantación de este tipo de sistemas en viviendas residenciales reduciría enormemente las emisiones globales de CO<sub>2</sub>.



# Bibliografía

---



### 37 Bibliografía

- [CTE07] Ministerio de Vivienda. Código Técnico de la Edificación, Documento Básico HE Ahorro de energía, sección HE-1. 2007
- [RITE98] Ministerio de Vivienda. Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE) y sus Instrucciones Complementarias (ITE). 1998
- [SANC92] Sánchez Quintana, Fernando. Instalaciones de calefacción por suelo radiante. PROGENSA. 1992
- [ROSA03] Rosas i Casals, Martí. Instalaciones de calefacción. Editorial UOC. 2003
- [FEIJ00] Feijó Muñoz, Jesús. Instalaciones de Climatización en la Arquitectura. Secretariado de Publicaciones e Intercambio Cultural de la Universidad de Valladolid. 2000
- [POUS04] Pous, Jaume; Jutglar, Lluís. Energía geotérmica. CEAC. 2004
- [IDAE02] Instituto de Ahorro de la Energía, IDAE. Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones de Baja Temperatura. Revisión 2002

Catálogos de fabricantes relacionados

Otros proyectos de contenido relacionado

### **38 Webs de consulta**

INGELCO, Ingeniería e Instalaciones S.L.

[www.ingelco.es/empresa.html](http://www.ingelco.es/empresa.html)

GirodGeotermia

[www.girodgeotermia.com](http://www.girodgeotermia.com)

Termoterra

[www.termoterra.es](http://www.termoterra.es)

Ciatesa, grupo Ciat

[www.ciatesa.es](http://www.ciatesa.es)

Geothermal Energy, S.L.

[www.geoter.es](http://www.geoter.es)

